

Дисфункциональные изменения хрусталика в реальной клинической практике

А.Ж. Фурсова^{1,2}И.А. Лоскутов³Ф.Г. Борисов³

¹ ГБУЗ Новосибирской области «Государственная Новосибирская областная клиническая больница»
ул. Немировича-Данченко, 130, Новосибирск, 630087, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
Красный проспект, 52, Новосибирск, 630091, Российская Федерация

³ ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»
ул. Щепкина, 61/2, Москва, 129110, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2024;21(3):617-622

Введение. Пресбиопия является глобальной проблемой, затрагивающей более 1,5 миллиарда человек по всему миру. Прогнозы указывают на увеличение среднего возраста населения к 2050 году до 40 лет с соответствующим увеличением случаев пресбиопии и сопутствующими экономическими потерями. Несмотря на повсеместное распространение пресбиопии, в настоящее время не существует эффективных способов ранней профилактики и восстановления динамической аккомодации и стандартизированного подхода к оценке возрастных изменений хрусталика, лежащих в основе пресбиопии. **Целью** данного исследования является изучение влияния возрастных изменений хрусталика на аккомодацию и рассмотрение современных фармакологических подходов к профилактике и лечению пресбиопии. **Методы.** Проведено многоцентровое проспективное исследование, включающее анализ остроты зрения, ближайшей точки ясного зрения и объема аккомодации у лиц в возрасте от 40 до 55 лет. Участникам исследования назначали пиреноксин (Каталин) в виде глазных капель 3 раза в день на протяжении 4 месяцев. Исследование включило 382 анкеты, собранные от 29 офтальмологов. **Результаты.** В результате исследования среднее расстояние до ближайшей точки ясного зрения незначительно уменьшилось, а запас аккомодации остался на прежнем уровне. Это свидетельствует об отсутствии значительного прогрессирования возрастного уменьшения запаса аккомодации как одного из проявлений пресбиопии и возможной эффективности пиреноксина в сохранении эластичных свойств хрусталика. **Заключение.** Исследование подтвердило эффективность пиреноксина в профилактике пресбиопии и сохранении аккомодационных возможностей у людей среднего возраста. Понятие «синдром дисфункции хрусталика» (Dysfunctional Lens Syndrome) может быть полезным для клинической практики, предоставляя возможности для ранней диагностики и лечения пресбиопии. Включение этого понятия в клинические рекомендации может улучшить подходы к лечению и профилактике возрастных изменений хрусталика.

Ключевые слова: синдром дисфункции хрусталика, объем аккомодации, пиреноксин, пресбиопия, катаракта

Для цитирования: Фурсова А.Ж., Лоскутов И.А., Борисов Ф.Г. Дисфункциональные изменения хрусталика в реальной клинической практике. *Офтальмология*. 2024;21(3):617-622. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2024-3-617-622>

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Конфликт интересов отсутствует.

Благодарности. Благодарность за участие в исследовании врачам-офтальмологам: Бондаренко Н.Н., Чернецкой И.И., Цой В.В., Добровецкой С.С., Порниной Е.А., Манукян Г.А., Чередниченко О.Г., Филимоновой В.В., Бесуслановой Х.Х., Яровиной Л.Ю., Бугуловой Л.М., Новиковой Т.А., Рытик Н.П., Гречаниченко Н.А., Олейникову К.Е., Артишевской С.А., Мартыненко Д.И., Чикановой А.Н., Костиной Н.Е., Романенковой С.А., Островской О.В., Головиной Н.В., Борисовой О.В., Шаповаловой Ж.Б., Таджиевой З.А., Ковтуновой Т.Ю., Стригуновой Е.Б., Аскернадзад С.Р., Камаха М.В.



Dysfunctional Changes in the Lens in Real Clinical Practice

A.Zh. Fursova^{1,2}, I.A. Loskutov³, F.G. Borisov³

¹ State Novosibirsk Regional Clinical Hospital
Nemirovich-Danchenko str., 130, Novosibirsk, 630087, Russian Federation

² Novosibirsk State Medical University
Krasny prospect, 52, Novosibirsk, 630091, Russian Federation

³ Moscow Regional Research Clinical Institute named after M.F. Vladimirsky
Shchepkina str., 61/2, Moscow, 129110, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2024;21(3):617–622

Introduction. Presbyopia is a global problem affecting more than 1.5 billion people worldwide. Projections indicate an increase in the average age of the population to 40 years by 2050, which is associated with an increase in the presbyopia incidence and corresponding economic losses. Despite the widespread prevalence of presbyopia, there are currently no effective methods for early prevention and restoration of dynamic accommodation and a standardized approach to assessing age-related changes in the lens that underlie presbyopia. **The purpose:** to study the effect of age-related changes in the lens on accommodation and to consider modern pharmacological approaches to the prevention and treatment of presbyopia. **Methods.** A multicenter prospective study was conducted, including analysis of visual acuity, the nearest point of clear vision and the volume of accommodation in individuals aged 40 to 55 years. Study participants were prescribed pyrenoxine (Catalin) as eye drops three times daily for 4 months. The study included 382 questionnaires collected from 29 ophthalmologists. **Results.** As a result of the study, the average distance to the nearest point of clear vision decreased slightly, but the reserve of accommodation remained at the same level. This indicates the absence of significant progression of age-related decrease in the reserve of accommodation as one of the manifestations of presbyopia and the possible effectiveness of pyrenoxine in preserving the elastic properties of the lens. **Conclusion.** The study confirmed the effectiveness of pyrenoxine in the prevention of presbyopia and the preservation of accommodative abilities in middle-aged people. The concept of Dysfunctional Lens Syndrome may be useful for clinical practice by providing opportunities for early diagnosis and treatment of presbyopia. Incorporating this concept into clinical guidelines may improve approaches to the treatment and prevention of age-related lens changes.

Keywords: lens dysfunction syndrome, volume of accommodation, pyrenoxine, presbyopia, cataract

For citation: Fursova A.Zh., Loskutov I.A., Borisov F.G. Dysfunctional changes in the lens in real clinical practice. *Ophthalmology in Russia*. 2024;21(3):617–622. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2024-3-617-622>

Financial Disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

There is no conflict of interests.

Пресбиопия — глобальная проблема, затрагивающая более 1,5 миллиарда человек во всем мире. Продолжающееся старение населения неизбежно сопровождается увеличением числа пресбиопов. Согласно прогнозам, предполагаемый средний возраст к 2050 году может достигнуть 40 лет (в 2015 году — 29,6 года) [1]. Несмотря на широкое использование очковой или контактной коррекции, проблема пресбиопии сопровождается значимым финансовым бременем [2]. Около 50 % взрослых старше 50 лет в мире (от 50 % в развивающихся странах, в которых отсутствует осведомленность и доступность вариантов лечения, до 34 % в развитых странах) не имеют адекватной коррекции вблизи, что влияет на выполнение заданий и продуктивность деятельности [3, 4]. По оценкам К.Е. Donaldson и соавт., глобальные потери производительности в размере 25 миллиардов долларов США могут быть связаны с некорригированной пресбиопией, что эквивалентно 0,037 % мирового валового внутреннего продукта [5].

Растущие потребности в развитии цифровых технологий и их прогрессивное использование неизбежно сопровождаются развитием астенопии из-за скрытой аккомодационной дисфункции у людей в возрасте от 30 лет, которая является формой практически не диагностируе-

мой пресбиопии с ранним началом [6]. Подтверждением являются неоднозначные и многозначительные определения пресбиопии, большинство которых сосредоточено исключительно на потере зрения вблизи, но пресбиопию при этом не связывают с особенностями рефракции [7], следовательно, многих молодых людей с нарушениями зрения можно считать пресбиопами. Другой подход к определению пресбиопии заключается в принятии более физиологического подхода, описывающего пресбиопию как связанное с возрастом прогрессирующее снижение способности хрусталика к аккомодации, приводящее к неспособности фокусироваться на близких объектах [8].

Субъективные показатели аккомодации указывают на то, что аккомодационная реакция начинает снижаться в раннем подростковом возрасте, достигает максимального снижения к пятому десятилетию, когда манифестирует снижение качества изображения вблизи, что приводит к очевидному прогрессированию симптомов [9]. Наиболее подходящим представляется определение пресбиопии как состояния, когда физиологически нормальное возрастное снижение диапазона фокусировки при оптимальной коррекции для зрения вдаль достигает точки,

А.Ж. Фурсова, И.А. Лоскутов, Ф.Г. Борисов

Контактная информация: Борисов Федор Григорьевич oftborisov@gmail.com

Дисфункциональные изменения хрусталика в реальной клинической практике

когда четкость зрения вблизи недостаточна для удовлетворения индивидуальных потребностей.

Несмотря на дебаты относительно точного механизма аккомодации, наиболее убедительные эмпирические данные подтверждают теорию Гельмгольца, согласно которой в ответ на сокращение цилиарной мышцы увеличивается толщина хрусталика, уменьшается его диаметр, увеличиваются передняя и задняя кривизна, что приводит к увеличению оптической силы и, следовательно, аккомодации [6, 7]. Представляет интерес предположение R.F. Fisher и соавт. о том, что причиной разной формы передней и задней поверхностей хрусталика служит особое строение его капсулы: при аккомодации капсула неравномерно растягивается вследствие разной ее толщины и эластичности в различных отделах. Авторы доказали, что капсула утолщается с возрастом, что приводит к снижению амплитуды аккомодации. На передней поверхности хрусталика она толще, чем на задней, а на латеральных участках (где крепятся волокна цинновой связки), толще, чем на полюсах. При аккомодации имеют значение два процесса: уменьшение радиуса кривизны поверхностей хрусталика — так называемая внекапсулярная аккомодация — и увеличение показателя преломления хрусталика — внутрикапсулярная аккомодация [10].

Одним из немаловажных моментов является изменение биохимического состава самого хрусталика. Здоровый хрусталик молодого человека — прозрачный, двояковыпуклый и в состоянии покоя отвечает примерно за 30 % общей преломляющей силы глаза. Продолжающийся на протяжении всей жизни его рост за счет присоединения новых волокон эпителиальных клеток сопровождается увеличением осевой толщины на 0,019–0,031 мм/год [11]. Аналогично происходит увеличение экваториального диаметра [12], в то время как поверхностные радиусы кривизны уменьшаются с возрастом, причем наибольшее изменение наблюдается на передней поверхности [13]. В течение жизни увеличивается содержание белка в хрусталике [14], и поскольку в клетках волокон не происходит их распад, концентрация клеточных белков возрастает, что приводит к соответствующему увеличению показателя преломления. Следовательно, старые центральные клетки имеют более высокий показатель преломления по сравнению с окружающими клетками, что приводит к градиенту показателя преломления, значения которого стабилизируются на уровне 1,418 [15]. При изучении флюоресценции хрусталика было замечено ее увеличение с возрастом при уменьшении количества водорастворимых белков. Многие белки обладают собственной флюоресценцией, поскольку они содержат ароматические аминокислоты: триптофан, фенилаланин, тирозин. Основным белком хрусталика — α -кристаллин, который может составлять до 50 % общего белка. Известно, что α -кристаллины произошли из семейства белков теплового шока, т.е. кроме структурной роли являются молекулярными

шаперонами в хрусталике и других тканях, способны к образованию устойчивых растворимых комплексов с денатурированными белками и, таким образом, подавляют их агрегацию. В хрусталике α -кристаллины обеспечивают защиту β - и γ -кристаллинов от ультрафиолетового облучения и окислительного стресса, повреждающих их и приводящих к развитию катаракты. В основе современной концепции катарактогенеза лежит предположение о том, что со временем шапероноподобная активность α -кристаллинов в хрусталике ослабевает. В клетках накапливаются денатурированные формы белков (γ - и β - кристаллины), начинается их агрегация, усиливаются флуктуации концентрации белка, на границе этих флуктуаций возникает светорассеяние [16]. С возрастом или в процессе развития катаракты доля водонерастворимых высокомолекулярных белковых агрегатов резко увеличивается, их образование происходит из водорастворимых высокомолекулярных белковых агрегатов (ВР ВБА). Медикаментозное воздействие именно на этом этапе представляется наиболее эффективным и обоснованным. Показана роль перенексина как блокатора хиноидных соединений, связанных с аномальным метаболизмом тирозина и триптофана и, соответственно, процессов денатурации ВР ВБА [17].

Одно из наиболее значительных изменений хрусталика с возрастом связано с его гибкостью. Здесь наблюдалось более чем трехкратное увеличение общей относительной устойчивости хрусталика человека *in vitro* к сжимающим силам в течение жизни. А. Glasser и Р. Kaufman и соавт. обнаружили, что в возрасте старше 60 лет хрусталик не претерпевает значительных изменений фокусного расстояния в ответ на моделирование зонального напряжения и расслабления *in vitro* [18]. Жесткость ядра, как и коры головного мозга, увеличивается с разной скоростью с возрастом, становясь одинаковой в возрасте от 35 до 45 лет [19]. Исследование К. Neys и соавт. *ex vivo* показало, что жесткость хрусталика в 20-летнем возрасте (измеренная как логарифм модуля сдвига) составляла примерно 1,5 Па в ядре и 2,0 Па в коре; при этом в 70 лет это значение изменилось до примерно 4,2 Па в ядре и 3,2 Па в коре [20]. В связи с этим повышенная ригидность хрусталика считается одной из основных причин пресбиопии у человека [6].

Помимо увеличения ригидности, пресбиопию также связывают с изменением формы и размера хрусталика с возрастом. Геометрическая теория предполагает, что осевое увеличение массы хрусталика и уменьшение радиуса кривизны приводит к расширению области прикрепления связок вокруг экватора хрусталика, увеличению расстояния между ними, натяжению цилиарной мышцы впереди и внутри [6] и уменьшению амплитуды параллельно-векторной силы, которую связки могут передавать экватору хрусталика. Следовательно, с возрастом сокращение и расслабление связок будет постепенно оказывать меньшее влияние на форму хрусталика [7]. S.

Strenk и соавт. модифицировали геометрическую теорию, чтобы показать возможную роль увеального тракта. Авторы предположили, что непрерывный рост передней части хрусталика обеспечивает его выдвижение вперед, которое распространяется вниз по корню радужной оболочки и через остальную часть сосудистой оболочки глаза, вызывает уменьшение расстояния между внутренней вершиной цилиарной мышцы и экватором хрусталика, уменьшение напряжения связок при отсутствии аккомодации, позволяя хрусталику принимать более выпуклую и изогнутую форму и, следовательно, уменьшая возможное изменение его формы во время аккомодации. Перемещение переднего увеального тракта в более заднее положение после удаления пресбиопического хрусталика, по-видимому, подтверждает эту гипотезу [21].

Н.А. Anderson и соавт. оценивают объективную амплитуду аккомодации (АА) как возрастную функциональную характеристику и показывают, что она резко снижается с 35 до 39 лет и достигает плато после 60 лет, практически не снижаясь или очень незначительно снижаясь между 50 и 60 годами. Хотя симптомы пресбиопии проявляются в среднем возрасте, важно отметить, что снижение амплитуды аккомодации, которое в итоге приводит к пресбиопии, начинается уже в первом десятилетии жизни [22]. Действительно, данные ранней работы А. Дуэйна в 1922 году по амплитуде аккомодации на более чем 4000 глазах, а также более современные исследования ясно показывают, что аккомодация является состоянием возраста, а не старения [23].

Несмотря на значимость и повсеместное распространение пресбиопии и, как следствие, пагубное воздействие на функцию зрения вблизи, весьма удивительно, что в настоящее время не существует ни одного эффективного оптического, фармацевтического или хирургического метода для ранней профилактики и восстановления динамической аккомодации стареющего глаза.

Для лечения пресбиопии исследуются два основных класса фармакологических средств: миотики и средства, уменьшающие плотность хрусталика. Миотические агенты увеличивают глубину фокуса за счет модуляции зрачка и эффекта точечного отверстия. Подход к снижению ригидности хрусталика направлен на улучшение аккомодационной способности за счет уменьшения дисульфидных связей, которые образуются между белками-кристаллинами с течением времени. Заслуживает интереса недавно опубликованное исследование Y. Tsuneyoshi и соавт., показавших возможное профилактическое действие пиреноксина в качестве возможного агента в борьбе с пресбиопией. Пиреноксин был представлен в 1958 году в виде глазных капель для подавления прогрессирования старческой катаракты и широко используется в настоящее время. В экспериментах на животных авторы, используя воздействие табачным дымом в течение 12 дней, показали увеличение коэффициента эластичности хрусталика и профилактическое действие глазных капель пиреноксина на этот

процесс. Полученные результаты послужили гипотезой возможной профилактики пресбиопии. В рандомизированном контролируемом клиническом исследовании людей в возрасте от 40 до 50 лет объективная амплитуда аккомодации достоверно ($p < 0,01$) уменьшилась на 0,16 дптр в контрольной группе, а в группе лечения глазными каплями пиреноксина не было обнаружено достоверных изменений АА после 6-месячного периода лечения. Эти результаты позволили предположить, что глазные капли пиреноксина могут предотвращать прогрессирование пресбиопии. G.S. Polunin и соавт. показали, что инстилляцией пиреноксина снижают оптическую плотность в слоях коры хрусталика и субкапсулярно [24]. D.S. Grewal и соавт. констатировали ухудшение контрастной чувствительности при повышении плотности хрусталика [25], W. Teramoto и соавт. — улучшение зрения вблизи у людей с пресбиопией за счет увеличения контрастности [26].

Учитывая вышеизложенное, актуальным представляется понятие возможного синдрома дисфункции хрусталика, что может способствовать улучшению понимания оптических его характеристик, связанных с возрастом. Возможности изучения стадирования выраженности синдрома дисфункционального хрусталика могут быть полезны для принятия медицинских или хирургических решений при лечении пресбиопии. Переосмысление того, как диагностировать, определять стадию и лечить пресбиопию, может стать одним из интересных, востребованных и приоритетных направлений. Хотя новые фармакологические подходы к терапии не могут быть панацеей, они могут стать давно назревшим дополнением к существующим вариантам профилактики раннего развития и лечения симптомов пресбиопии, что даст возможность персонализировать решения для удовлетворения потребностей пациентов в зрении, связанных с пресбиопией.

В отечественной литературе понятие синдрома дисфункции хрусталика практически не используется, хотя то, что в англоязычной литературе носит название Dysfunctional Lens Syndrome (сокращенно DLS), включает пресбиопию и начальную катаракту, которая еще не приводит к снижению остроты зрения. Интересен момент уменьшения объема аккомодации с точки зрения развития условий для собственно пресбиопии. Исследование объема аккомодации в условно выделенной группе так называемых «ранних» пресбиопов представляет интерес с точки зрения возможности повлиять на развитие пресбиопии в самом начале, в точке формирования условий для ее возникновения.

Проведено проспективное многоцентровое исследование остроты зрения, ближайшей точки ясного зрения и объема аккомодации у лиц в возрасте от 40 до 55 лет в режиме реальной клинической практики. Критериями невключения были: рефракционные операции в анамнезе, другая офтальмологическая патология, кроме аномалий рефракции, клинически значимый астигматизм, анизометропия больше 2 дптр. Все пациентам был назначен

АНКЕТА ДЛЯ ВРАЧА

Дата:

Пациент:

Схема проведения исследования

Шаг 1. Определение остроты зрения для дали с полной коррекцией на каждый глаз (фиксируем результат в анкете).

Шаг 2. Таблица для проверки остроты зрения – текст №4 приближаем к испытуемому глазу с полной коррекцией на расстояние минимально возможное с которого текст виден – определяем ближайшую точку ясного зрения (фиксируем результат в анкете).

Шаг 3. Помещаем таблицу для близи (текст №4) на расстоянии 33 см к испытуемому глазу с полной коррекцией и добавляем отрицательные линзы (шаг -0,25Д) до тех пор, пока текст перестает быть видимым – определяем запас аккомодации (фиксируем результат в анкете).

Отмечаем в момент 1-го визита, отмечаем через 2-3 месяца и отмечаем через 6 месяцев.

Критерий включения:

- возраст – от 40 лет до 55 лет
- участвуют все, и у кого – (миопия) и у кого + (гиперметропия)
- отсутствие рефракционной хирургии в анамнезе
- отсутствие офтальмологических заболеваний, кроме аномалий рефракции

Критерий исключения:

- возраст – младше 40 лет и старше 55 лет
- астигматизм
- ранее выполненные рефракционные операции
- анизотропия больше 2 дптр
- анизометропия

Определение остроты зрения для дали с полной коррекцией на каждый глаз

Шаг 1	Start	Chek-up	Finish
OD	1	2	3
OS	1	2	3
Sph			
Cyl			

Таблица для проверки остроты зрения – текст №4 приближаем к испытуемому глазу с полной коррекцией на расстояние минимально возможное с которого текст виден – определяем ближайшую точку ясного зрения

Шаг 2	Start	Chek-up	Finish
OD	1	2	3
OS	1	2	3
CM			

Помещаем таблицу для близи (текст №4) на расстоянии 33 см к испытуемому глазу с полной коррекцией и добавляем отрицательные линзы (шаг -0,25Д) до тех пор, пока текст перестает быть видимым – определяем запас аккомодации

Шаг 3	Start	Chek-up	Finish
OD	1	2	3
OS	1	2	3
Sph			

Рис. 1. Анкета

пиреноксин (Каталин) в стандартной схеме 1 капля 3 раза в день в оба глаза. Повторное исследование проведено через 4 месяца после начала лечения. Результаты обследования пациента вносились врачами в анкету (рис. 1). В работу включены 382 анкеты от 29 врачей-офтальмологов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таблица 1. Распределение по полу и возрасту

Table 1. Distribution by gender and age

	Мужчины / Men	Женщины / Women
Возраст / Age	40–44	40–44
	54	92
	45–49	45–49
	60	80
	50–55	50–55
	34	62
	Всего / All	Всего / All
	148	234
Средний возраст / Mean age	46,6 ± 0,6	46,8 ± 0,5

При анализе распределения по возрасту группы представляются вполне сопоставимыми по среднему возрасту.

Таблица 2. Средняя величина ближайшей точки ясного зрения

Table 2. Average value of the nearest point of clear vision

	Мужчины / Men	Женщины / Women
Ближайшая точка ясного зрения (см) / Nearest point of clear vision	38,4 ± 2,6	36,6 ± 2,1
Ближайшая точка ясного зрения (см) после начала лечения / Nearest point of clear vision after treatment	36,1 ± 2,5	34,7 ± 2,1

Из таблицы 2 видно, что в процессе лечения наблюдается достоверное ($p < 0,05$) изменение расстояния до ближайшей точки ясного зрения в сторону уменьшения в обеих группах, что свидетельствует об отсутствии значительного прогрессирования явлений пресбиопии. Этот простой тест представляется весьма показательным и, несмотря на относительно небольшой срок наблюдения, весьма информативным. Значение этого показателя еще и в том, что его очень легко отследить в любых условиях, вплоть до самоконтроля со стороны пациента.

Следующим показателем эффективности курса лечения пиреноксином служил запас аккомодации, что представлено в таблице 3.

Таблица 3. Средняя величина запаса аккомодации (сила отрицательной линзы в диоптриях)

Table 3. Average amount of accommodation reserve (negative lens power in diopters)

	Мужчины / Men	Женщины / Women
Величина запаса аккомодации (дптр) / Accommodation reserve	0,09 ± 0,18	0,11 ± 0,12
Величина запаса аккомодации (дптр) после начала лечения / Accommodation reserve after treatment	0,11 ± 0,18	0,12 ± 0,12

Как видно из представленных данных, максимальная сила отрицательной линзы, которая позволяла читать, не меняя расстояние до текста, осталась на прежнем уровне ($p < 0,05$). Этот показатель является легко воспроизводимым в условиях амбулаторного приема, поэтому и был выбран для нашего исследования, которое анонсировано как исследование в реальной клинической практике. Сохранение запаса аккомодации по данным этого теста на фоне использования пиреноксина подтверждает эффективность препарата для сохранения эластичных свойств хрусталика и сохранения аккомодационных возможностей в исследованной возрастной группе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В реальной клинической практике отслеживание прогрессирования помутнений хрусталика представляется малореализуемым. Напротив, оценка эластических

свойств хрусталика и динамики аккомодационных ресурсов вполне поддается динамическому наблюдению в качестве показателя для отслеживания возрастных изменений хрусталика.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Фурсова А.Ж. — концепция и дизайн, сбор и анализ литературы, написание статьи;
Лоскутов И.А. — критический пересмотр статьи в части значимого интеллектуального содержания, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования;
Борисов Ф.Г. — сбор и анализ литературы, написание статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Bourne RRA, Flaxman SR, Braithwaite T, Cicinelli MV, Das A, Jonas JB, Keffe J, Kempen JH, Leasher J, Limburg H, Naidoo K, Pesudovs K, Resnikoff S, Silvestre A, Stevens GA, Tahhan N, Wong TY, Taylor HR; Vision Loss Expert Group. Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Glob Health*. 2017 Sep;5(9):e888–e897. doi: 10.1016/S2214-109X(17)30293-0.
- Vargas V, Vejarano F, Alió JL. Near Vision Improvement with the Use of a New Topical Compound for Presbyopia Correction: A Prospective, Consecutive Interventional Non-Comparative Clinical Study. *Ophthalmol Ther*. 2019 Mar;8(1):31–39. doi: 10.1007/s40123-018-0154-6.
- Cheng F, Shan L, Song W, Fan P, Yuan H. Distance- and near-visual impairment in rural Chinese adults in Kailu, Inner Mongolia. *Acta Ophthalmol*. 2016 Jun;94(4):407–413. doi: 10.1111/aos.12808.
- Frick KD, Joy SM, Wilson DA, Naidoo KS, Holden BA. The Global Burden of Potential Productivity Loss from Uncorrected Presbyopia. *Ophthalmology*. 2015 Aug;122(8):1706–1710. doi: 10.1016/j.ophtha.2015.04.014.
- Donaldson KE. The Economic Impact of Presbyopia. *J Refract Surg*. 2021 Jun;37(S1):S17–S19. doi: 10.3928/1081597X-20210408-03.
- Wolffsohn JS, Davies LN. Presbyopia: Effectiveness of correction strategies. *Prog Retin Eye Res*. 2019 Jan;68:124–143. doi: 10.1016/j.preteyeres.2018.09.004.
- Girum M, Desalegn Gudeta A, Shiferaw Alemu D. Determinants of high unmet need for presbyopia correction: a community-based study in northwest Ethiopia. *Clin Optom (Auckl)*. 2017 Jan 23;9:25–31. doi: 10.2147/OPTO.S123847.
- Abdelkader A, Kaufman HE. Clinical outcomes of combined versus separate carbachol and brimonidine drops in correcting presbyopia. *Eye Vis (Lond)*. 2016 Dec 5;3:31. doi: 10.1186/s40662-016-0065-3.
- Hookway LA, Frazier M, Rivera N, Ramson P, Carballo L, Naidoo K. Population-based study of presbyopia in Nicaragua. *Clin Exp Optom*. 2016 Nov;99(6):559–563. doi: 10.1111/cxo.12402.
- Fisher RF. Presbyopia and the changes with age in the human crystalline lens. *J Physiol*. 1973 Feb;228(3):765–779. doi: 10.1113/jphysiol.1973.sp010111.
- Atchison DA, Blazaki S, Suheimat M, Plainis S, Charman WN. Do small-aperture presbyopic corrections influence the visual field? *Ophthalmic Physiol Opt*. 2016 Jan;36(1):51–59. doi: 10.1111/opo.12265.
- Kasthurirangan S, Markwell EL, Atchison DA, Pope JM. MRI study of the changes in crystalline lens shape with accommodation and aging in humans. *J Vis*. 2011 Mar 25;11(3):19. doi: 10.1167/11.3.19.
- Richdale K, Bullimore MA, Sinnott LT, Zadnik K. The Effect of Age, Accommodation, and Refractive Error on the Adult Human Eye. *Optom Vis Sci*. 2016 Jan;93(1):3–11. doi: 10.1097/OPX.0000000000000757.
- Chang CK, Wang SS, Lo CH, Hsiao HC, Wu JW. Investigation of the early stages of human yD-crystallin aggregation process. *J Biomol Struct Dyn*. 2017 Apr;35(5):1042–1054. doi: 10.1080/07391102.2016.1170632.
- Khan A, Pope JM, Verkicharla PK, Suheimat M, Atchison DA. Change in human lens dimensions, lens refractive index distribution and ciliary body ring diameter with accommodation. *Biomed Opt Express*. 2018 Feb 21;9(3):1272–1282. doi: 10.1364/BOE.9.001272.
- Horwitz J. Alpha-crystallin can function as a molecular chaperone. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1992 Nov 1;89(21):10449–10453. doi: 10.1073/pnas.89.21.10449.
- Upaphong P, Thonusin C, Choovuthayakorn J, Chattipakorn N, Chattipakorn SC. The Possible Positive Mechanisms of Pirenixine in Cataract Formation. *Int J Mol Sci*. 2022 Aug 21;23(16):9431. doi: 10.3390/ijms23169431.
- Glasser A, Kaufman PL. The mechanism of accommodation in primates. *Ophthalmology*. 1999 May;106(5):863–872. doi: 10.1016/S0161-6420(99)00502-3.
- Weeber HA, Eckert G, Pechhold W, van der Heijde RG. Stiffness gradient in the crystalline lens. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2007 Sep;45(9):1357–1366. doi: 10.1007/s00417-007-0537-1.
- Heys KR, Cram SL, Truscott RJ. Massive increase in the stiffness of the human lens nucleus with age: the basis for presbyopia? *Mol Vis*. 2004 Dec 16;10:956–963.
- Strenk SA, Strenk LM, Koretz JF. The mechanism of presbyopia. *Prog Retin Eye Res*. 2005 May;24(3):379–393. doi: 10.1016/j.preteyeres.2004.11.001. Epub 2004 Dec 19.
- Anderson HA, Stuebing KK. Subjective versus objective accommodative amplitude: preschool to presbyopia. *Optom Vis Sci*. 2014 Nov;91(11):1290–1301. doi: 10.1097/OPX.0000000000000402.
- Duane A. Studies in Monocular and Binocular Accommodation, with Their Clinical Application. *Trans Am Ophthalmol Soc*. 1922;20:132–157.
- Tsuneyoshi Y, Higuchi A, Negishi K, Tsubota K. Suppression of presbyopia progression with pirenixine eye drops: experiments on rats and non-blinded, randomized clinical trial of efficacy. *Sci Rep*. 2017 Jul 28;7(1):6819. doi: 10.1038/s41598-017-07208-6.
- Grewal DS, Brar GS, Grewal SP. Correlation of nuclear cataract lens density using Scheimpflug images with Lens Opacities Classification System III and visual function. *Ophthalmology*. 2009 Aug;116(8):1436–1443. doi: 10.1016/j.ophtha.2009.03.002.
- Teramoto W, Tao K, Sekiyama K, Mori S. Reading performance in middle-aged adults with declines in accommodation. *Atten Percept Psychophys*. 2012 Nov;74(8):1722–1731. doi: 10.3758/s13414-012-0360-6.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ГБУЗ «Государственная Новосибирская областная клиническая больница».
Фурсова Анжела Жановна
доктор медицинских наук, заведующая офтальмологическим отделением Новосибирской областной клинической больницы, главный офтальмолог Новосибирской области и главный детский офтальмолог Новосибирской области
ул. Немировича-Данченко, 130, Новосибирск, 630087, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0001-6311-5452>

ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»
Лоскутов Игорь Анатольевич
доктор медицинских наук, заведующий научным отделом и кафедрой офтальмологии и оптометрии, главный офтальмолог Московской области, руководитель офтальмологической службы
129110, г. Москва, ул. Щепкина, 61/2, Москва, 129110, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0003-0057-3338>

ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»
Борисов Федор Григорьевич
ординатор 2-го года обучения
129110, г. Москва, ул. Щепкина, 61/2, Москва, 129110, Российская Федерация
<https://orcid.org/0009-0005-2783-9935>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

State Novosibirsk Regional Clinical Hospital
Fursova Angela Z.
MD, head of the Ophthalmological Department of the Novosibirsk Regional Clinical Hospital, chief ophthalmologist of the Novosibirsk region and chief pediatric ophthalmologist of the Novosibirsk Region
Nemirovich-Danchenko str., 130, Novosibirsk, 630087, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0001-6311-5452>

Moscow Regional Research Clinical Institute named after M.F. Vladimirov
Loskutov Igor A.
MD, ophthalmologist, head of the Scientific Department and Department of Ophthalmology and Optometry, chief ophthalmologist of the Moscow Region, head of the Ophthalmological Service
Shchepkina str., 61/2, Moscow, 129110, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0003-0057-3338>

Moscow Regional Research Clinical Institute named after M.F. Vladimirov
Borisov Fedor G.
resident
Shchepkina str., 61/2, Moscow, 129110, Russian Federation
<https://orcid.org/0009-0005-2783-9935>