

Изменение оптической плотности макулярного пигмента как новый фактор риска первичной открытоугольной глаукомы



И.А. Лоскутов



О.М. Андриякина

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

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2025;22(2):376–382

С возрастом увеличивается распространенность таких заболеваний глаз, как первичная открытоугольная глаукома (ПОУГ) и возрастная макулярная дегенерация (ВМД), которые являются основными причинами потери зрения у пожилых пациентов. Недавние исследования показывают, что снижение оптической плотности макулярного пигмента (ОПМП), состоящего из лютеина, зеаксантина и мезозеаксантина, может быть связано с повышенным риском ПОУГ. Эти каротиноиды играют ключевую роль в защите фоторецепторов от окислительного стресса, регулируют световую фильтрацию и обеспечивают нейропротекцию. Исследования продемонстрировали, что пациенты с ПОУГ имеют более низкий уровень ОПМП, что может быть ранним биомаркером глаукомной нейродегенерации. Кроме того, прием нутрицевтиков, содержащих макулярные каротиноиды, обеспечивает повышение ОПМП, что может способствовать сохранению зрительных функций. Дополнительную защиту обеспечивают витамины группы В и ниацин, которые поддерживают митохондриальное здоровье и снижают окислительный стресс в ганглиозных клетках сетчатки. Таким образом, изучение ОПМП как потенциального модифицируемого фактора риска ПОУГ открывает новые перспективы для диагностики и терапии заболевания. Дальнейшие исследования необходимы для определения оптимальных стратегий применения нутрицевтиков и оценки влияния ОПМП на течение глаукомы.

Ключевые слова: макулярные пигменты, оптическая плотность макулярного пигмента, лютеин, зеаксантин, глаукома, возрастная макулярная дегенерация

Для цитирования: Лоскутов И.А., Андриякина О.М. Изменение оптической плотности макулярного пигмента как новый фактор риска первичной открытоугольной глаукомы. *Офтальмология*. 2025;22(2):376–382. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2025-2-376-382>

Прозрачность финансовой деятельности: обзор подготовлен при поддержке компании ООО «Бауш Хелс». Позиция авторов статьи может отличаться от позиции компании ООО «Бауш Хелс».

Конфликт интересов отсутствует.



Changes in Macular Pigment Optical Density as a New Risk Factor for Primary Open-angle Glaucoma

I.A. Loskutov, O.M. Andryukhina

Moscow Regional Research and Clinical Institute (MONIKI)
Schepkina str., 61/2, Moscow, 129110, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2025;22(2):376–382

With aging, the prevalence of eye diseases such as primary open-angle glaucoma (POAG) and age-related macular degeneration (AMD) increases, making them leading causes of vision loss in older adults. Recent studies suggest that a decrease in macular pigment optical density (MPOD), composed of lutein, zeaxanthin, and meso-zeaxanthin, may be associated with an increased risk of POAG. These carotenoids play a crucial role in protecting photoreceptors from oxidative stress, regulating light filtration, and providing neuroprotection. Studies have shown that patients with POAG exhibit lower MPOD levels, which may serve as an early biomarker of glaucomatous neurodegeneration. Moreover, supplementation with macular carotenoids has been found to increase MPOD, potentially improving visual function. Additionally, B vitamins and niacin offer further protection by supporting mitochondrial health and reducing oxidative stress in retinal ganglion cells. Thus, investigating MPOD as a modifiable risk factor for POAG presents new opportunities for disease diagnosis and management. Further research is needed to determine optimal nutraceutical strategies and to evaluate the impact of MPOD on glaucoma progression.

Keywords: macular pigments, optical density of macular pigment, lutein, zeaxanthin, glaucoma, age-related macular degeneration

For citation: Loskutov I.A., Andryukhina O.M.. Changes in Macular Pigment Optical Density as a New Risk Factor for Primary Open-angle Glaucoma. *Ophthalmology in Russia*. 2025;22(2): 376–382. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2025-2-376-382>

Financial Disclosure: the review is supported by Bausch Health LLC. The position of the authors of the article may differ from the position of Bausch Health LLC.

There is no conflict of interests.

С увеличением количества пожилых людей в структуре населения резко повышается распространенность возрастзависимых заболеваний, из них наиболее значимыми являются заболевания органа зрения, которые влияют на качество жизни [1]. Учитывая, что в 2050 году численность населения в мире удвоится, глаукома и возрастная макулярная дегенерация (ВМД), будучи хроническими прогрессирующими многофакторными заболеваниями, становятся главными причинами страдания пациентов старшей возрастной группы [2]. Основными объединяющими их признаками являются: связь с возрастом, общие факторы риска, бессимптомное начало, хроническое прогрессирующее течение, двусторонний несимметричный процесс и необходимость ранней диагностики [3]. Стареющее население требует адаптации систем здравоохранения к особым потребностям пожилых людей [4].

В Российской Федерации глаукома лидирует в структуре причин слепоты, в 2022 г. зарегистрировано 1 250 558 пациентов с данной патологией. При этом в мировой популяции сохраняется тенденция к увеличению распространенности первичной открытоугольной глаукомы, число больных составит к 2040 г. 111,8 млн [5]. У одного пациента могут диагностировать одновременно и глаукому, и ВМД. Как правило, превалирует то заболевание, которое развилось первым или прогрессирует быстрее. Сочетание двух отдельных офтальмологических заболеваний у одного пациента поднимает вопросы относительно потенциальных факторов, которые могут

предрасполагать пациентов к клиническим заболеваниям, таким как стрессовая дезадаптация, дефицит питательных веществ или воспалительная, метаболическая, сердечно-сосудистая дисфункция. Возрастная макулярная дегенерация и глаукома являются основными причинами потери зрения, которые преимущественно поражают пожилых пациентов [6].

Многие рандомизированные клинические испытания показали, что снижение ВГД замедляет наступление и прогрессирование глаукомы [7]. Поэтому все текущие методы лечения ПОУГ направлены на снижение внутриглазного давления консервативными или хирургическими методами. Однако необходимо учитывать, что у некоторых пациентов даже при достижении нормального уровня внутриглазного давления имеется прогрессирование глаукомного процесса [8, 9]. В соответствии с этим продолжается поиск новых модифицируемых факторов риска глаукомы [10].

Лютеин, зеаксантин и мезозеаксантин — это ксантофилловые пигменты, неравномерно присутствующие в сетчатке глаза человека, а их концентрация в макуле примерно в 100 раз выше по сравнению с периферией. Зеаксантин, включая его изомер мезозеаксантин, концентрируется в центральной части сетчатки, в отличие от лютеина, также присутствующего в периферических областях. Физиологическое значение такого гетерогенного распределения макулярных ксантофиллов доказано в экспериментальных исследованиях, в которых показана особая предрасположенность зеаксантина

I.A. Loskutov, O.M. Andryukhina

Contact information: Andryukhina Olga M. a-olya86@mail.ru

Changes in Macular Pigment Optical Density as a New Risk Factor for Primary Open-angle Glaucoma

377

к участию в регуляторной деятельности в ответ на изменение интенсивности света. Зеаксантин обеспечивает центральное и точное зрение при низкой интенсивности света и защищает фоторецепторы от фотоповреждения при очень сильном освещении [11]. Макулярные пигменты преимущественно локализируются в аксонах, образующих наружный плексиформный слой и слой волокон Генле [12]. Эти пигменты усиливают защитные механизмы, подавляя активные формы кислорода, в том числе синглетный, поглощая синий свет, тем самым защищая от окислительного стресса и потенциального повреждения сетчатки [13]. В двух крупных исследованиях было показано, что более низкое потребление каротиноидов с пищей связано с более высоким риском развития ПОУГ [14, 15].

Оптическая плотность макулярного пигмента (ОПМП) является мерой концентрации лютеина и зеаксантина в макуле. ОПМП измеряется в единицах оптической плотности и колеблется от 0 до 1 [16]. Этот показатель можно измерить несколькими методами и разделить на психофизические и объективные, каждый из которых имеет свои плюсы и минусы. ОПМП можно использовать в качестве нового биомаркера [17].

За последние 15 лет появились работы, посвященные изменению оптической плотности макулярного пигмента при различных заболеваниях [18]. Было выявлено, что с возрастом данный показатель снижался на 10 % каждое десятилетие [19, 20]. Появляются первые работы об изменении ОПМП у пациентов с открытоугольной глаукомой. Было показано снижение в два раза ОПМП в глазах с меньшей толщиной комплекса ганглиозных клеток в области фовеолы в сравнении с глазами без изменений в данной области. Авторы исследования предположили, что данная связь может быть специфичной для ПОУГ, при которой поражается фовеальная область [21]. Это позволило предположить, что макулярный пигмент может быть ранним маркером глаукомной нейродегенерации и предотвращать гибель ганглиозных клеток в макуле [22]. Это подтверждено в длительном проспективном исследовании каротиноидов при возрастных заболеваниях глаз, проведенном в 2001–2004 гг. (CAREDS1) и 2016–2019 гг. (CAREDS2), где и были представлены доказательства связи между уровнем макулярного пигмента и манифестной ПОУГ в выборке пожилых женщин в CAREDS2. В глазах с выявленной ПОУГ показатель ОПМП был на 25 % ниже, чем в не глаукомных глазах в группе CAREDS2, и эти данные были подтверждены после исключения участников, принимавших добавки с лютеином и зеаксантином [23].

До сих пор продолжается изучение потенциальных биологических механизмов, лежащих в основе связи между ОПМП и проявлением ПОУГ. Новое понимание влияния макулярных ксантофилов при глаукоме продемонстрировано в двойном слепом рандомизированном плацебо-контролируемом клиническом исследовании

ENIGMA. Анализ ОПМП при ежедневном приеме 10 мг лютеина, 2 мг зеаксантина и 10 мг мезозеаксантина выявил среднее увеличение объема ОПМП на 60 % в течение 18 месяцев у тех, кто был рандомизирован для получения макулярного каротиноида, по сравнению с теми, кто получал плацебо. Относительное улучшение ОПМП было наибольшим среди тех, у кого были самые низкие исходные значения, при этом некоторые участники показали более чем 3-кратное увеличение по сравнению с исходным уровнем. Однако увеличение было отмечено у всех участников, даже у тех, у кого были самые высокие исходные уровни макулярного пигмента [24].

Нейропротекция влияет на поддержание комплекса ганглиозных клеток сетчатки при лечении глаукомы и является важной терапевтической целью [25]. В соответствии с этим макулярный пигмент, обладающий особыми биологическими качествами, обеспечивает нейропротекторные эффекты в глаукомном глазу, предотвращая или замедляя ишемию, окислительный стресс, воспаление и митохондриальную дисфункцию, которые приводят к апоптозу [26–29]. Лютеин может защищать сетчатку от глаукомной нейродегенерации, ингибируя проапоптотические пути, связанные с ишемическим повреждением, что было неоднократно подтверждено в экспериментальных исследованиях *in vitro* и *in vivo* при различных патологиях сетчатки, характеризующихся нейродегенерацией [28, 30–35]. Таким образом, низкая оптическая плотность макулярного пигмента может быть связана со значительным увеличением риска возникновения патологических изменений сетчатки с возрастом и последующим нарушением зрительной функции [36].

Зрение — это сложный психофизиологический процесс, позволяющий получить представление о величине, форме и цвете предметов на контрастном фоне, их взаимном расположении, расстоянии между ними и их освещении, дающий распознавание движения и другие возможности. Контрастная чувствительность (КЧ) зрительной системы помогает различать объекты разной яркости и напрямую связана с тем, насколько хорошо человек может выполнять задачи повседневной жизни [37]. Яркие блики приводят к нетрудоспособности пациентов с глаукомой, это может развиваться даже у людей с незначительной потерей зрения. Низкие уровни макулярного пигмента способствуют нарушению зрительной функции при ярком освещении у больных глаукомой [38]. Пререцепторная фильтрация коротковолнового синего света макулярным пигментом снижает неблагоприятное воздействие ослепляющих бликов, светорассеяния и хроматической аберрации (преломление различных длин волн оптическими средами в разной степени, причем синий свет преломляется существенно сильнее и, следовательно, расфокусируется на сетчатке), тем самым оптимизируя КЧ [26].

Многочисленные исследования результатов магнитно-резонансной томографии (МРТ) показали связь

заболеваний глаз со структурными изменениями зрительного тракта и мозга. Это имеет клиническое значение для таких заболеваний, как глаукома и ВМД [39].

Обнаружена связь между дефектами полей зрения и уменьшением серого вещества в затылочном кортексе, редукцией белого вещества в зоне зрительной лучистости, а также зрительной коры. Таким образом, восстановление функции сетчатки и зрительного нерва может быть недостаточным для эффективного улучшения зрения [3, 39]. Глаукома и ВМД, являясь нейродегенеративными заболеваниями, как и болезнь Альцгеймера, сопровождаются дегенерацией латеральных колоччатых тел, уменьшением веса хиазмы зрительного пути, диаметра зрительного нерва, объема белого и серого вещества по всему зрительному пути и корреляцией этих изменений с длительностью заболевания, а также стадией процесса. Если исходить из этого, становится очевидным снижение когнитивных функций пациентов с сочетанием ВМД и глаукомы [3, 39].

Лютеин и зеаксантин, будучи жирорастворимыми, легко проходят гематоэнцефалический и гематоретинальный барьеры и имеют тенденцию накапливаться в тканях центральной нервной системы с высокой специфичностью. Клиническое исследование, связанное с оценкой когнитивных функций у пожилых людей, получавших пищевые добавки в виде 10 мг лютеина и 2 мг зеаксантина, показало увеличение ОПМП [40]. Таким образом, добавление макулярных каротиноидов может оказаться полезным в качестве дополнительной рекомендации для оптимизации зрительной функции и сохранения здоровья макулы при глаукоме и ВМД. Организм человека не может синтезировать лютеин и зеаксантин и должен получать их из питания [41]. Для увеличения показателей ОПМП необходим длительный прием лютеина и зеаксантина — более 4 месяцев для замедления и стабилизации дистрофических изменений сетчатки и улучшения зрительных функций пациентов при возрастной макулярной дегенерации и ПОУГ [42].

В последнее время во всем мире отмечается повышенный интерес к применению при глаукоме нутрицевтиков, положительно влияющих на патофизиологические механизмы, лежащие в основе развития глаукомы, и являющихся ценным дополнением к базовой терапии данного заболевания. В их состав, помимо каротиноидов лютеина и зеаксантина, входят витамины группы В (V_1 , V_2 , V_3 , V_6 , V_9 , V_{12}), витамины С, Е, троксерутин, различные микроэлементы, омега-3 и незаменимые жирные кислоты [42, 43].

С целью понять связь между потреблением витаминов В и распространенностью глаукомы были проведены крупные популяционные исследования в Соединенных Штатах Америки в 2005–2006 и 2007–2008 гг. с использованием данных Национального обследования здоровья и питания (NHANES). В этих исследованиях было изучено потенциальное влияние ежедневного

потребления витаминов V_1 , V_2 , V_3 , V_6 , V_9 , V_{12} на глаукому [44]. Свободные радикалы могут вмешиваться в цикл трикарбоновых кислот и митохондриальные метаболические пути, что приводит к гибели комплекса ганглиозных клеток сетчатки. Однако витамины группы В могут действовать как антиоксиданты, улучшая и защищая нервные клетки, снижая окислительный стресс в ганглиозных клетках сетчатки [44].

Витамины V_1 и V_2 могут функционировать как коферменты в метаболизме аминокислот, делении и росте клеток, синтезе ДНК и восстановлении в клетках человека [45]. Кроме того, витамин V_1 участвует в метаболизме глюкозы и синтезе нейротрансмиттеров, а также оказывает антиоксидантное действие на нервные клетки [46]. Роттердамское проспективное популяционное исследование показало, что средние и высокие дозы витамина V_1 оказывают наиболее сильный защитный эффект в отношении ПОУГ [15]. Согласно Корейскому национальному обследованию здоровья и питания (KNHANES), популяционного перекрестного исследования в Южной Корее о связи между потреблением питательных веществ и ПОУГ, было выявлено, что низкое потребление витаминов V_1 и V_2 может быть связано с повышенной вероятностью возникновения глаукомы [47].

В исследовании J. Ноу и соавт. (2024) был проведен анализ между потреблением витаминов группы В и глаукомой, с обнаружением различия между двумя полами. При глаукоме, диагностированной на основе критериев Международного общества географической и эпидемиологической офтальмологии (ISGEO), было установлено, что на фоне более высокого потребления витамина V_6 с пищей был отмечен более низкий риск развития глаукомы у мужчин. В то время как у женщин потребление витаминов V_2 и V_9 было нелинейно связано с диагностированной ISGEO глаукомой, риск ПОУГ снижался на фоне повышенного их потребления [44].

Никотинамид является производным ниацина, более известного как витамин V_3 . В обычном рационе мы можем обнаружить несколько предшественников витамина V_3 : аминокислоту триптофан; никотинамид, ниацин, никотиновую кислоту и никотинамидрибозид, которые трансформируются в активную форму, никотинамиддениндинуклеотид (НАД) через сложный биохимический путь. НАД играет несколько важных ролей в организме. Это кофермент в митохондриальной продукции АТФ [48]. Ниацин (витамин V_3) как предшественник общего (НАД) может замедлить митохондриальную дисфункцию и уменьшить повреждение зрительного нерва при глаукоме [49, 50]. опыты, проведенные на крысах, подтвердили важность метаболизма никотинамида и связанных с ним путей как ключевых компонентов нейропротекции ганглиозных клеток сетчатки. Диетическое дополнение никотинамида обеспечивало дозозависимую, надежную защиту структуры ганглиозных клеток сетчатки после моделированной глазной гипертензии,

при этом защита являлась полной на дендритном уровне при приеме высоких доз перорального ниацина [51].

Установлено, что ежедневное потребление ниацина с пищей значительно ниже у пациентов с глаукомой по сравнению с общей популяцией [48]. Исследование, основанное на NHANES в Южной Корее, в котором анализировались 24-часовые данные о питании и выявлялась глаукома с помощью офтальмологического обследования, показало, что высокие уровни диетического ниацина были связаны со снижением риска глаукомы у людей старше 40 лет. Полученные результаты показали, что каждое увеличение потребления диетического ниацина на 1 мг было связано с 6-процентным снижением риска глаукомы, диагностированной по критериям ISGEO [44].

Диета с высоким содержанием витамина B_6 обратно пропорциональна риску развития глаукомы, что позволяет предположить, что увеличение потребления витамина B_6 с пищей может стать эффективной стратегией [52]. Исследование с помощью оптической когерентной томографии плотности перфузии крови в зрительном нерве и макулярной области у пациентов с глаукомой показало значительное улучшение после перорального приема ниацинамида [53]. При возрастной макулярной дегенерации (ВМД) ниацин продемонстрировал улучшение хориоидального кровотока и расширение артерий сетчатки, что предполагает двойную пользу ниацинамида как против окислительного, так и ишемического повреждения [54].

Независимые исследования показали существенное воздействие лютеина и зеаксантина на глазную перфузию сетчатки и диска зрительного нерва [55, 56]. Зеаксантин играет роль в регуляции окислительно-восстановительного состояния в ретинальных кровеносных сосудах, воздействуя на синтез и уровни глутатиона, что потенциально влияет на микроциркуляцию сетчатки. Более низкие уровни лютеина и зеаксантина продемонстрировали значимую связь с неблагоприятными количественными показателями ретинальной сосудистой сети у пожилых здоровых субъектов [55]. В соответствии с этим лютеин и зеаксантин могут способствовать сохранению зрения при возрастных заболеваниях глаз, характеризующихся недостаточным кровоснабжением

сетчатки, например при глаукомной оптической нейропатии и возрастной макулярной дегенерации [57].

Другим активным биофлавоноидом, обладающим антиоксидантной активностью, является троксерутин, уменьшающий окисление липидов, защищающий клетки от повреждения свободными радикалами, стабилизирующий клеточные мембраны, что позволяет уменьшить проницаемость и ломкость капилляров и сосудов сетчатки за счет протекции эндотелия [42].

Для улучшения активности рассмотренных каротиноидов и биофлавоноидов необходимо сочетать их с витаминами Е, С, селеном, цинком, магнием и медью, которые обеспечивают, помимо высокой усвояемости компонентов, еще и более комплексное действие с большей антиоксидантной активностью. Это удачно сочетается в биологически активных добавках. В России в последние пять лет таким сбалансированным нутрицевтиком является биологически активная добавка «Визлея».

Необходимы дополнительные клинические исследования для дальнейшего выяснения связи между ОПМП и оценкой состояния слоев сетчатки, связанных с глаукомой, что может способствовать разработке новых подходов для ведения пациентов с ПОУГ [57].

Преимущественное накопление макулярного пигмента в месте наиболее острого зрения является результатом механизма поглощения, который развивается в ответ на функциональные потребности ткани сетчатки. Ксантофилловые пигменты оптимизируют зрительную функцию в здоровых глазах путем пререцепторного поглощения синего света. Их эффективность зависит от оптимальных уровней и пикового пространственного профиля пигментов. Кроме того, макулярные каротиноиды могут защищать от возрастных изменений сетчатку и зрительный нерв благодаря своим свойствам фильтровать синий свет, а также их антиоксидантной активности. Соответственно, этот дополнительный нутрицевтический подход в сочетании с терапией, снижающей внутриглазное давление, позволит обеспечить защитные и функциональные преимущества для больных глаукомой.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Лоскутов И.А. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста;
Андрюхина О.М. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Lin PJ, Abraham AG, Ramulu P, Mihailovic A, Kucharska-Newton A, Guo X. Social Determinants of Uncorrected Distance and Near Visual Impairment in an Older Adult Population. *Transl Vis Sci Technol*. 2025 Jan 2;14(1):8. doi: 10.1167/tvst.14.1.8.
- Wang Y, Zhong Y, Zhang L, Wu Q, Tham Y, Rim TH, Kithinji DM, Wu J, Cheng C, Liang H, Yu H, Yang X, Liu L. Global Incidence, Progression, and Risk Factors of Age-Related Macular Degeneration and Projection of Disease Statistics in 30 Years: A Modeling Study. *Gerontology*. 2022;68(7):721–735. doi: 10.1159/000518822.
- Фурсова АЖ, Гусаревич ОГ, Тарасов МС, Васильева МА, Чубарь НВ, Литвинова НВ. Возрастная макулярная дегенерация и глаукома. Эпидемиологический и клинико-патогенетические аспекты сочетанного течения. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2018;38(5):83–91. doi: 10.15372/SSMJ20180514. Fursova AZ, Gusarevich OG, Tarasov MS, Vasilyeva MA, Chubar NV, Litvinova NV. Age-macular degeneration and glaucoma. Epidemiological and clinic-pathogenetic aspects. *Siberian scientific medical journal*. 2018;38(5):83–91 (In Russ.). doi: 10.15372/SSMJ20180514.
- Zisberg A, Rayan-Gharra N, Danial-Saad A, Rogozinski A, Fraiman PS, Segel-Karpas D. Age-Friendly Healthcare: An Evolutionary Concept Analysis. *J Clin Nurs*. 2024 Dec;33(12):4635–4650. doi: 10.1111/jocn.17457.
- Нероев ВВ, Михайлова ЛА, Малишевская ТН, Петров СЮ, Филиппова ОМ. Эпидемиология глаукомы в Российской Федерации. *Российский офтальмологический журнал*. 2024;17(3):7–12. doi: 10.21516/2072-0076-2024-17-3-7-12. Neroev VV, Mikhaylova LA, Malishevskaya TN, Petrov SYu, Filippova OM. Glaucoma epidemiology in the Russian Federation. *Russian Ophthalmological Journal*. 2024;17(3):7–12 (In Russ.). doi: 10.21516/2072-0076-2024-17-3-7-12.
- Dimalanta L, Pithadia K, Shenkute NT, Strelow B, Zhang Z, Ulrich J, Zhang AY, Fleischman D. Disease Associations among Patients Afflicted with Both Glaucoma and Age-Related Macular Degeneration. *J Clin Med*. 2024 Oct 6;13(19):5941. doi: 10.3390/jcm13195941.
- Еричев ВП, Онищенко АЛ, Куроедов АВ, Петров СЮ, Брежнев АЮ, Антонов АА, Витков АА, Мураховская ЮК. Офтальмологические факторы риска

- развития первичной открытоугольной глаукомы. Клиническая офтальмология. 2019;19(2):81–86. doi: 10.32364/2311-7729-2019-19-2-81-86.
- Erichev VP, Onishchenko AL, Kuroedov AV, Petrov SYu, Brezhnev AYu, Antonov AA, Vitkov AA, Murakhovskaya YuK. Ophthalmic risk factors for the development of primary open-angle glaucoma. *Clinical Ophthalmology*. 2019;19(2):81–86 (In Russ.). doi: 10.32364/2311-7729-2019-19-2-81-86.
8. Витков АА, Хдери Х, Агаджанян ТМ, Акимов АМ, Асиновская ИИ, Комаров АА, Семенов ЕД. Выбор метода измерения внутриглазного давления для оценки гипотензивной эффективности антиглаукомных операций. Национальный журнал Глаукома. 2023;22(2):39–43. doi: 10.53432/2078-4104-2023-22-2-39-43.
 - Vitkov AA, Hadiri Kh, Aghajanyan TM, Akimov AM, Asinovskova II, Komarov AA, Semenov ED. The choice of IOP measurement method for assessing the effectiveness of glaucoma surgery. *National Journal Glaucoma*. 2023;22(2):39–43 (In Russ.). doi: 10.53432/2078-4104-2023-22-2-39-43.
 9. Hejl A, Leske MC, Bengtsson B, Hyman L, Bengtsson B, Hussein M. Reduction of intraocular pressure and glaucoma progression: results from the Early Manifest Glaucoma Trial. *Arch. Ophthalmol*. 2002;120(10):1268–1279. doi: 10.1001/archophth.120.10.1268.
 10. Downs JC, Fleischman D. 2020–2022 Research Committee of the American Glaucoma Society and the 2020–2022 Glaucoma Clinical Committee of the American Society of Cataract and Refractive Surgery. Unmet needs in the detection, diagnosis, monitoring, treatment, and understanding of primary open-angle glaucoma: a position statement of the American Glaucoma Society and the American Society of Cataract and Refractive Surgery. *Ophthalmol. Glaucoma*. 2022;5(5):465–467. doi: 10.1016/j.ogla.2022.02.008.
 11. Grudzinski W, Luchowski R, Ostrowski J, Sęk A, Mendes Pinto MM, Welc-Stanowska R, Zubik-Duda M, Teresiński G, Rejdak R, Gruszecki WI. Physiological Significance of the Heterogeneous Distribution of Zeaxanthin and Lutein in the Retina of the Human Eye. *Int J Mol Sci*. 2023 Jun 27;24(13):10702. doi: 10.3390/ijms241310702.
 12. Grudzinski W, Luchowski R, Ostrowski J, Sęk A, Mendes Pinto MM, Welc-Stanowska R, Zubik-Duda M, Teresiński G, Rejdak R, Gruszecki WI. Physiological Significance of the Heterogeneous Distribution of Zeaxanthin and Lutein in the Retina of the Human Eye. *Int J Mol Sci*. 2023 Jun 27;24(13):10702. doi: 10.3390/ijms241310702.
 13. Krinsky NI. Carotenoid protection against oxidation. *Pure Appl. Chem*. 1979;51:649–660. doi: 10.1351/pac197951030649.
 14. Kang JH, Pasquale LR, Willett W, Rosner B, Egan KM, Faberowski N, Hankinson SE. Antioxidant intake and primary open-angle glaucoma: a prospective study. *Am J Epidemiol*. 2003 Aug 15;158(4):337–346. doi: 10.1093/aje/kwg167.
 15. Ramdas WD, Wolfs RC, Kiefte-de Jong JC, Hofman A, de Jong PT, Vingerling JR, Jansonius NM. Nutrient intake and risk of open-angle glaucoma: the Rotterdam Study. *Eur J Epidemiol*. 2012 May;27(5):385–393. doi: 10.1007/s10654-012-9672-z.
 16. Bernstein PS, Delori FC, Richer S, van Kuijk FJ, Wenzel AJ. The value of measurement of macular carotenoid pigment optical densities and distributions in age-related macular degeneration and other retinal disorders. *Vision Res*. 2010 Mar 31;50(7):716–728. doi: 10.1016/j.visres.2009.10.014.
 17. Masri A, Armanazi M, Inouye K, Geierhart DL, Davey PG, Vasudevan B. Macular Pigment Optical Density as a Measurable Modifiable Clinical Biomarker. *Nutrients*. 2024 Sep 27;16(19):3273. doi: 10.3390/nu16193273.
 18. Эскина ЭН, Егоров ЕА, Белогурова АВ, Гветадзе АА, Степанова МА. Роль измерения оптической плотности макулярного пигмента в диагностике глазных заболеваний. Клиническая офтальмология. 2016;4:197–200. doi: 10.21689/2311-7729-2016-16-4-197-200.
 - Eskina EN, Egorov EA, Belogurova AV, Gvetadze A. A., Stepanova M. A. The role of the macular pigment optical density measurement in the diagnosis of eye diseases. *Clinical ophthalmology*. 2016;4:197–200 (In Russ.). doi: 10.21689/2311-7729-2016-16-4-197-200.
 19. Obana A, Gohto Y, Tanito M, Okazaki S, Gellermann W, Bernstein PS, Ohira A. Effect of age and other factors on macular pigment optical density measured with resonance Raman spectroscopy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2014 Aug;252(8):1221–1228. doi: 10.1007/s00417-014-2574-x.
 20. Ji Y, Zuo C, Lin M, Zhang X, Li M, Mi L, Liu B, Wen F. Macular Pigment Optical Density in Chinese Primary Open Angle Glaucoma Using the One-Wavelength Reflectometry Method. *J Ophthalmol*. 2016;2016:2792103. doi: 10.1155/2016/2792103.
 21. Siah WF, Loughman J, O'Brien C. Lower Macular Pigment Optical Density in Foveal-Involved Glaucoma. *Ophthalmology*. 2015 Oct;122(10):2029–2037. doi: 10.1016/j.ophtha.2015.06.028.
 22. Hood DC, Raza AS, de Moraes CG, Liebmann JM, Ritch R. Glaucomatous damage of the macula. *Prog Retin Eye Res*. 2013 Jan;32:1–21. doi: 10.1016/j.preteyeres.2012.08.003.
 23. Liu Y, Lawler T, Liu Z, Thuruthumaly C, Vajaranant T, Wallace R, Tinker L, Nalbandyan M, Mares J. Low Macular Pigment Optical Density Is Associated with Manifest Primary Open-Angle Glaucoma in Older Women. *Curr Dev Nutr*. 2024 May 25;8(6):103789. doi: 10.1016/j.cdnut.2024.103789.
 24. Loughman J, Loskutova E, Butler JS, Siah WF, O'Brien C. Macular Pigment Response to Lutein, Zeaxanthin, and Meso-zeaxanthin Supplementation in Open-Angle Glaucoma: A Randomized Controlled Trial. *Ophthalmol Sci*. 2021 Jul 11;1(3):100039. doi: 10.1016/j.xops.2021.100039.
 25. Chang EE, Goldberg JL. Glaucoma 2.0: neuroprotection, neuroregeneration, neuroenhancement. *Ophthalmology*. 2012 May;119(5):979–986. doi: 10.1016/j.ophtha.2011.11.003.
 26. Loskutova E, Nolan J, Howard A, Beatty S. Macular pigment and its contribution to vision. *Nutrients*. 2013 May 29;5(6):1962–1969. doi: 10.3390/nu5061962.
 27. Loughman J, Davison PA, Nolan JM, Akkali MC, Beatty S. Macular pigment and its contribution to visual performance and experience. *Journal of Optometry*. 2010;3(2):74–90. doi: 10.1016/S1888-4296(10)70011-X.
 28. Ozawa Y, Sasaki M, Takahashi N, Kamoshita M, Miyake S, Tsubota K. Neuroprotective effects of lutein in the retina. *Curr Pharm Des*. 2012;18(1):51–56. doi: 10.2174/138161212798919101.
 29. Bernstein PS, Li B, Vachali PP, Gorusupudi A, Shyam R, Henriksen BS, Nolan JM. Lutein, zeaxanthin, and meso-zeaxanthin: The basic and clinical science underlying carotenoid-based nutritional interventions against ocular disease. *Prog Retin Eye Res*. 2016 Jan;50:34–66. doi: 10.1016/j.preteyeres.2015.10.003.
 30. Fung FK, Law BY, Lo AC. Lutein Attenuates Both Apoptosis and Autophagy upon Cobalt (II) Chloride-Induced Hypoxia in Rat Müller Cells. *PLoS One*. 2016 Dec 9;11(12):e0167828. doi: 10.1371/journal.pone.0167828.
 31. Li SY, Fung FK, Fu ZJ, Wong D, Chan HH, Lo AC. Anti-inflammatory effects of lutein in retinal ischemic/hypoxic injury: in vivo and in vitro studies. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012 Sep 6;53(10):5976–5984. doi: 10.1167/iov.12-10007.
 32. Bian Q, Gao S, Zhou J, Qin J, Taylor A, Johnson EJ, Tang G, Sparrow JR, Gierhart D, Shang F. Lutein and zeaxanthin supplementation reduces photooxidative damage and modulates the expression of inflammation-related genes in retinal pigment epithelial cells. *Free Radic Biol Med*. 2012 Sep 15;53(6):1298–1307. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2012.06.024. Epub 2012 Jun 23. PMID: 22732187. PMCID: PMC3744865.
 33. Sasaki M, Ozawa Y, Kurihara T, Kubota S, Yuki K, Noda K, Kobayashi S, Ishida S, Tsubota K. Neurodegenerative influence of oxidative stress in the retina of a murine model of diabetes. *Diabetologia*. 2010 May;53(5):971–979. doi: 10.1007/s00125-009-1655-6.
 34. Sasaki M, Yuki K, Kurihara T, Miyake S, Noda K, Kobayashi S, Ishida S, Tsubota K, Ozawa Y. Biological role of lutein in the light-induced retinal degeneration. *J Nutr Biochem*. 2012 May;23(5):423–429. doi: 10.1016/j.jnutbio.2011.01.006.
 35. Sasaki M, Ozawa Y, Kurihara T, Noda K, Imamura Y, Kobayashi S, Ishida S, Tsubota K. Neuroprotective effect of an antioxidant, lutein, during retinal inflammation. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2009 Mar;50(3):1433–1439. doi: 10.1167/iov.08-2493.
 36. Lem DW, Gierhart DL, Davey PG. Carotenoids in the Management of Glaucoma: A Systematic Review of the Evidence. *Nutrients*. 2021 Jun 6;13(6):1949. doi: 10.3390/nu13061949.
 37. Экгардт ВФ, Дороевеев ДА. Пространственная контрастная чувствительность при открытоугольной глаукоме и офтальмогипертензии. Вестник офтальмологии. 2020;136(1):25–35. doi: 10.17116/oftalma202013601125.
 - Ekgardt VF, Dorofeev DA. Spatial contrast sensitivity in patients with primary open-angle glaucoma and ocular hypertension. *Russian Annals of Ophthalmology*. 2020;136(1):25–35 (In Russ.). doi: 10.17116/oftalma202013601125.
 38. Siah WF, O'Brien C, Loughman JJ. Macular pigment is associated with glare-affected visual function and central visual field loss in glaucoma. *Br J Ophthalmol*. 2018 Jul;102(7):929–935. doi: 10.1136/bjophthalmol-2017-310215.
 39. Prins D, Hanekamp S, Cornelissen FW. Structural brain MRI studies in eye diseases: are they clinically relevant? A review of current findings. *Acta Ophthalmol*. 2016 Mar;94(2):113–121. doi: 10.1111/aos.12825.
 40. Hammond BR Jr, Miller LS, Bello MO, Lindbergh CA, Mewborn C, Renzi-Hammond LM. Effects of Lutein/Zeaxanthin Supplementation on the Cognitive Function of Community Dwelling Older Adults: A Randomized, Double-Masked, Placebo-Controlled Trial. *Front Aging Neurosci*. 2017 Aug 3;9:254. doi: 10.3389/fnagi.2017.00254.
 41. Wilson LM, Tharmarajah S, Jia Y, Semba RD, Schaumberg DA, Robinson KA. The Effect of Lutein/Zeaxanthin Intake on Human Macular Pigment Optical Density: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Adv Nutr*. 2021 Dec 1;12(6):2244–2254. doi: 10.1093/advances/nmab071.
 42. Лоскутов ИА, Корнеева АВ. Роль витаминов группы В в предупреждении прогрессирования глаукомной оптической нейропатии. Национальный журнал Глаукома. 2021;20(3):87–101. doi: 10.53432/2078-4104-2021-20-3-87-101.
 - Loskutov IA, Korneeva AV. The role of B vitamins in preventing the progression of glaucomatous optic neuropathy. *National Journal glaucoma*. 2021;20(3):87–101 (In Russ.). doi: 10.53432/2078-4104-2021-20-3-87-101.
 43. Morrone LA, Rombola L, Adornetto A, Corasaniti MT, Russo R. Rational Basis for Nutraceuticals in the Treatment of Glaucoma. *Curr Neuropharmacol*. 2018;16(7):1004–1017. doi: 10.2174/1570159X15666171109124520.
 44. Hou J, Wen Y, Gao S, Jiang Z, Tao L. Association of dietary intake of B vitamins with glaucoma. *Sci Rep*. 2024 Apr 12;14(1):8539. doi: 10.1038/s41598-024-58526-5.
 45. Ramdas WD, Schouten JSAG, Webers CAB. The Effect of Vitamins on Glaucoma: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*. 2018 Mar 16;10(3):359. doi: 10.3390/nu10030359.
 46. Calderón-Ospina CA, Nava-Mesa MO. B Vitamins in the nervous system: Current knowledge of the biochemical modes of action and synergies of thiamine, pyridoxine, and cobalamin. *CNS Neurosci Ther*. 2020 Jan;26(1):5–13. doi: 10.1111/cns.13207.
 47. Lee JY, Kim JM, Lee KY, Kim B, Lee MY, Park KH. Relationships between Obesity, Nutrient Supply and Primary Open Angle Glaucoma in Koreans. *Nutrients*. 2020 Mar 24;12(3):878. doi: 10.3390/nu12030878.
 48. Nicola CA, Marinescu MC, Firan AM, Naidin MS, Ciuluvica RC, Rosu MM, Meca AD, Bogdan M, Turcu-Stolica A. Systematic Review and Meta-Analysis on the Association Between Daily Nicotin Intake and Glaucoma. *Nutrients*. 2024 Oct 23;16(21):3604. doi: 10.3390/nu16213604.

49. Taechameekietichai T, Chansangpetch S, Peerawaranun P, Lin SC. Association between Daily Niacin Intake and Glaucoma: National Health and Nutrition Examination Survey. *Nutrients*. 2021 Nov 26;13(12):4263. doi: 10.3390/nu13124263.
50. Lee SY, Tseng VL, Kitayama K, Avallone TJ, Yu F, Pan D, Caprioli J, Coleman AL. Associations Between Niacin Intake and Glaucoma in the National Health and Nutrition Examination Survey. *J Glaucoma*. 2023 Jun 1;32(6):443–450. doi: 10.1097/IJG.0000000000002216.
51. Cimaglia G, Tribble JR, Votruba M, Williams PA, Morgan JE. Oral nicotinamide provides robust, dose-dependent structural and metabolic neuroprotection of retinal ganglion cells in experimental glaucoma. *Acta Neuropathol Commun*. 2024 Aug 23;12(1):137. doi: 10.1186/s40478-024-01850-8.
52. Yang Z, Zhang J, Zheng Y. Higher vitamin B6 dietary consumption is associated with a lower risk of glaucoma among United States adults. *Front Nutr*. 2024 Jun 5;11:1363539. doi: 10.3389/fnut.2024.1363539.
53. Gustavsson ST, Enz TJ, Tribble JR, Nilsson M, Lindqvist A, Lindén C, Hagström A, Rutigliani C, Lardner E, Stålhammar G, Williams PA, Jóhannesson G. Nicotinamide Prevents Retinal Vascular Dropout in a Rat Model of Ocular Hypertension and Supports Ocular Blood Supply in Glaucoma Patients. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2023 Nov 1;64(14):34. doi: 10.1167/iovs.64.14.34.
54. Gemae MR, Bassi MD, Wang P, Chin EK, Almeida DRP. NAD+ and Niacin Supplementation as Possible Treatments for Glaucoma and Age-Related Macular Degeneration: A Narrative Review. *Nutrients*. 2024 Aug 21;16(16):2795. doi: 10.3390/nu16162795.
55. Kumari N, Cher J, Chua E, Hamzah H, Wong TY, Cheung CY. Association of serum lutein and zeaxanthin with quantitative measures of retinal vascular parameters. *PLoS One*. 2018 Sep 27;13(9):e0203868. doi: 10.1371/journal.pone.0203868.
56. Harris A, Siesky B, Huang A, Do T, Mathew S, Frantz R, Gross J, Januleviciene I, Verticchio Vercellin AC. Lutein Complex Supplementation Increases Ocular Blood Flow Biomarkers in Healthy Subjects. *Int J Vitam Nutr Res*. 2019 Jul;89(1–2):5–12. doi: 10.1024/0300-9831/a000576.
57. Lawler T, Mares JA, Liu Z, Thuruthumaly C, Etheridge T, Vajaranant TS, Domalpally A, Hammond BR, Wallace RB, Tinker LF, Nalbandyan M, Klein BEK, Liu Y; Carotenoids in Age-Related Eye Disease Study Investigators; Second Carotenoids in Age-Related Eye Disease Study Research Group. Association of macular pigment optical density with retinal layer thicknesses in eyes with and without manifest primary open-angle glaucoma. *BMJ Open Ophthalmol*. 2023 Oct;8(1):e001331. doi: 10.1136/bmjophth-2023-001331.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Лоскутов Игорь Анатольевич
доктор медицинских наук, руководитель офтальмологического отделения,
заведующий кафедрой офтальмологии и оптометрии

Андрюхина Ольга Михайловна
кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник офтальмологического
отделения, ассистент кафедры офтальмологии и оптометрии

ABOUT THE AUTHORS

Loskutov Igor A.
MD, Head of the Ophthalmology and Optometry Department

Andryukhina Olga M.
PhD, senior researcher of the Ophthalmology and Optometry Department,
Assistant Professor of Ophthalmology and Optometry