Check for updates CC BY

https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-1-128-132

Клиническая ценность исследования оптической плотности макулярного пигмента

М.М. Бикбов, Э.Л. Усубов, Н.Б. Зайнуллина, Е.Н. Матюхина, И.П. Пономарев✉

ГБУ «Уфимский НИИ глазных болезней Академии наук Республики Башкортостан», ул. Пушкина, д. 90, Уфа, 450008, Россия

Плотность макулярного пигмента в центральной области сетчатки образована суммарной концентрацией лютеина, зеаксантина и мезозеаксантина. В норме среднее значение оптической плотности макулярного пигмента (ОПМП) может значительно варьировать, поскольку зависит от образа жизни человека, общего количества пигмента в организме, питания, пола, возраста, а также таких сопутствующих заболеваний, как сахарный диабет, ожирение, гипертоническая болезнь. Выявлены различия в уровне ОПМП у населения разных стран, показано снижение его уровня при патологии сетчатки, катаракте, глаукоме, близорукости, макулодистрофиях, диабетическом макулярном отеке. Уровень макулярного пигмента может быть использован в качестве диагностического критерия при многих офтальмопатологиях, поэтому необходимо дальнейшее изучение этого показателя.

Ключевые слова: оптическая плотность макулярного пигмента; глаукома; катаракта; миопия; возрастная макулярная дегенерация сетчатки; диабетический макулярный отек
Конфликт интересов: отсутствует.
Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.
Для цитирования: Бикбов М.М., Усубов Э.Л., Зайнуллина Н.Б., Матюхина Е.Н., Пономарев И.П. Клиническая ценность исследования оптической плотности макулярного пигмента. Российский офтальмологический журнал. 2022; 15 (1): 128-32. https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-1- 128-132

Determination of the optical density of macular pigment: clinical value

Mukharram M. Bikbov, Emin L. Usubov, Nelly B. Zaynullina, Ekaterina N. Matyukhina, Ildar P. Ponomarev✉

Ufa Eye Research Institute, 90, Pushkin St., Ufa, Bashkortostan, 450008, Russia
il-darin@mail.ru

The density of macular pigment in the central retina is the total concentration of lutein, zeaxanthin and meso-zeaxanthin. Normally, the average value of the optical density of macular pigment can vary significantly as it depends on the person's lifestyle, the total amount of pigment in the body, nutrition, gender, age, as well as concomitant diseases such as diabetes, obesity, arterial hypertension. Differences in the level of optical density of macular pigment between different countries were revealed and it was showed that this parameter drops in cases of retinal pathology, cataract, glaucoma, myopia, macular degeneration, or diabetic macular edema. The level of macular pigment may be considered as a significant diagnostic criterion in many ophthalmic pathologies, so any changes of this parameter require attentive consideration.

Keywords: macular pigment optical density; glaucoma; cataract; myopia; age-related macular degeneration; diabetic macular edema
Conflict of interests: there is no conflict of interests.
Financial disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned.
For citation: Bikbov M.M., Usubov E.L., Zaynullina N.B., Matyukhina E.N., Ponomarev I.P. Determination of the optical density of macular pigment: clinical value. Russian ophthalmological journal. 2022; 15 (1): 128-32 (In Russian). https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-1-128-132

 © Бикбов М.М., Усубов Э.Л., Зайнуллина Н.Б., Матюхина Е.Н., Пономарев И.П., 2022

К социально значимым заболеваниям глаз во всем мире относятся катаракта, глаукома, аномалии рефракции, возрастная макулярная дегенерация (ВМД) и диабетическая ретинопатия (ДР) [1]. В докладе Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) (октябрь 2019 г.) к 2020 г. прогнозировался рост частоты таких глазных заболеваний, как пресбиопия — 826 млн чел., ВМД (30–97 лет) — 196 млн; ДР — 146 млн; нарушения рефракции — 124 млн; катаракта — 65 млн; глаукома (40–80 лет) — 6,9 млн [2]. В то же время, по данным ВОЗ, 80 % всех нарушений зрения можно предотвратить или излечить, проводя раннюю диагностику [1].

Существенным этиологическим фактором слепоты и плохого зрения являются заболевания сетчатки, в том числе ВМД и диабетическая ангиоретинопатия. Заболеваемость поздними стадиями ВМД сетчатки, приводящей к инвалидности в старших возрастных группах, составляет в мире 15 и выше на 1000 человек [3]. Подобный уровень инвалидности на мировом уровне свидетельствует о недостаточной эффективности лечения [4].

Внедрение в клиническую практику неинвазивных методов исследования структур сетчатки и макулярной области у пациентов разных возрастов способствует более полной, ранней и своевременной диагностике офтальмопатологии, а также правильному профессиональному отбору лиц на различные работы.

Заболевания сетчатки в основном связаны с изменениями в макулярной зоне: толщины макулы, структуры слоев сетчатки, а также плотности макулярного пигмента (ПМП), которую образуют суммарная концентрация лютеина, зеаксантина и мезозеаксантина в центральной области сетчатки [5, 6]. Основная локализация макулярного пигмента (МП) — волокна Генле, фовеола и внутренний ядерный слой, парафовеа [7–10].

Плотность мезозеаксантина в центральной области сетчатки значительно выше плотности лютеина и зеаксантина, тогда как на периферии ситуация обратная [11, 12]. В середине 1980-х гг. была определена химическая структура ретинальных каротиноидов (лютеин, зеаксантин). Установлено, что лютеин существует в качестве одного стереоизомера, его молекулярная формула — $C_{40}H_{56}O_2$, систематическое название — β, ε-каротин-3,3'-диол [5, 13–15].

Важными функциями МП центральной зоны сетчатки являются следующие: 1) поглощение света с длиной волны 430–490 нм (максимум поглощения — 465 нм), в результате чего уменьшаются хроматические зрительные аберрации; 2) экранирование; 3) выполнение антиоксидантной функции —защита макулы от свободных радикалов, перекисного окисления липидов и т. д. [16–20].

Лютеин и зеаксантин в основном поступают с пищей, тогда как мезозеаксантин не встречается в продуктах питания [21–23]. Согласно одной из гипотез, мезозеаксантин является продуктом конверсии лютеина и синтезируется исключительно в сетчатке глаза, что подтвердили опыты *in vitro* [8, 14]. У пациентов с ВМД после приема лютеинсодержащих препаратов наблюдается улучшение остроты зрения. У курящих людей выявлено снижение плотности МП более чем на 25 % по сравнению с некурящими [16, 24].

Клинические исследования доказывают, что оптическая плотность МП (ОПМП) в здоровой популяции зависит от образа жизни человека, питания, возраста, пола, расовой принадлежности. Однако ОПМП снижается не только с возрастом, но и вследствие заболеваний глаза: ВМД, первичной открытоугольной глаукомы, диабетического макулярного отека, а также при таких общесоматических заболеваниях, как сахарный диабет, ожирение, гипертоническая болезнь и другие [6, 16, 25–30].

Исследования ОПМП проводятся во всем мире (США, Европе, Канаде, Азии и т. д.), доказывая причинно-следственную связь развития офтальмопатологии с изменением плотности МП. Поэтому определение ОПМП имеет большое клиническое значение для профилактики развития глазных заболеваний. В США при определении нетрудоспособности принимают во внимание концентрацию МП и показатели контрастной чувствительности, так как их снижение может отрицательно влиять на такие повседневные виды деятельности, как вождение, мобильность, распознавание лиц, скорость чтения [31–33].

По мнению ряда авторов, методика определения ОПМП является субъективной, зависящей от интеллекта пациента и его психофизиологических особенностей [24, 34]. Однако, по мнению большинства исследователей, методику определения ОПМП необходимо использовать в тех случаях, когда традиционные методики обследования не выявляют изменений в макулярной области, а также для мониторинга пациентов в диагностических и динамических исследованиях. Концентрация ОПМП отражает сохранность макулярной зоны, а именно состояние наружных слоев сетчатки, поэтому необходимо регулярное и объективное измерение ОПМП при патологии центрального отдела сетчатки.

Как правило, денситометрию (оценку ОПМП) осуществляют с помощью высокоточной цифровой фундус-камеры VISUCAM 500 (Carl Zeiss, Германия), денситометра Mpod MPS 1000 (Tinsley Precision Instruments, Великобритания), работающего на основе гетерохроматической фликкер-фотометрии. Основу методики гетерохроматической фликкер-фотометрии составляет обнаружение пациентом мерцания статического огонька-метки. С этой целью используется эффект слияния двух мелькающих вспышек при определенных пространственных, временных и яркостных соотношениях. Если частота вспышек низкая, то стимулы воспринимаются как две разные по яркости и цвету вспышки; если частота вспышек повышается, то происходит цветовая фузия, стимулы кажутся одного смешанного цвета [10–11, 25–27, 35–38].

Приведенные ниже результаты клинических исследований показывают, что в разных популяциях ОПМП имеет существенные различия. Так, у англичан и европейцев плотность пигмента в макулярной зоне в 2 раза выше, чем у американцев. Для здорового населения Великобритании (11–87 лет) значение ОПМП составило в среднем 0,40 ± 0,165 du (density units, условная единица плотности), Австралии (21–84 года) — 0,41 ± 0,20 du, при этом не выявлено достоверной связи с полом, курением и весом. Среди здоровых жителей США показатель плотности МП составил в среднем 0,21 ± 0,13 du [16]. У здоровых добровольцев в России (20–66 лет) средний показатель ОПМП варьировал от 0,30 ± 0,12 до 0,33 ± 0,12 du [35].

Установлено, что в центральной зоне сетчатки у людей смуглой расы содержание МП на 30 % больше, чем у светлоглазых. В частности, у здорового населения Китая (17–85 лет) уровень ОПМП составил 0,56 ± 0,19 du [36, 37].

Среди населения Южной Азии, Сингапура, Индии выявлены различия в уровне ОПМП у мужчин и женщин. Так, у мужчин здоровой популяции Южной Азии уровень ОПМП составил 0,47 ± 0,13 du, у женщин — 0,41 ± 0,14 du, у жителей Сингапура (21–68 лет) соответственно 0,61 ± 0,21 и 0,52 ± 0,17 du [39, 40]. Среди здорового населения Индии (20–60 лет) уровень ОПМП составил 0,64 ± 0,23 du, при этом определялась корреляция не только с полом, но и с возрастом: наиболее высокий уровень плотности пигмента наблю-

дался у мужчин в возрасте 40 49 лет и у женщин в возрасте 50–59 лет [41]. В популяции здоровых жителей Японии (22–48 лет) среднее значение ОПМП составило 0,625 ± 0,036 du у мужчин и 0,555 ± 0,031 du у женщин, при этом отсутствовали достоверные гендерные различия [42]. Следует отметить, что существует значительная вариабельность значений ОПМП в норме у представителей различных этнических групп: от 0,22 до 0,56 du, что значительно затрудняет интерпретацию его значений в плане оценки нормы или патологии. В то же время уровень содержания МП в глазу определяет предрасположенность каждого человека к определенным заболеваниям органа зрения.

Известно, что ВМД сетчатки относится к числу наиболее распространенных заболеваний у лиц старше 40 лет и представляет собой хронический дистрофический процесс в пигментном эпителии, хориокапиллярном слое, мембране Бруха. В экономически развитых странах ВМД является ведущей причиной необратимой потери центрального зрения. Плотность МП у здоровых людей с возрастом снижается [40], при этом у пациентов с ВМД уровень ОПМП еще ниже, чем в здоровой популяции, но данные о корреляции с возрастом на данный момент остаются противоречивыми [41, 43].

Другим не менее важным заболеванием сетчатки и сосудистой оболочки, приводящим к слепоте или необратимому снижению зрения у лиц трудоспособного возраста в экономически развитых странах, является ДР [44]. У пациентов с сахарным диабетом I типа и пролиферативными изменениями на глазном дне уровень ОПМП значительно ниже, чем у здоровых пациентов, что имеет диагностическое значение при определении прогрессирования заболевания [45]. Проявлением сахарного диабета II типа является поражение сетчатки в виде диабетического макулярного отека (ДМО), приводящего к снижению остроты зрения, изменениям сетчатки во внутреннем ядерном и внутреннем сетчатом слоях, снижению показателей ОПМП [11]. Проведенные исследования свидетельствуют о необходимости изучения показателей МП у пациентов с ВМД и сахарным диабетом как можно раньше с целью выявления диабетических изменений сетчатки, а также для определения лиц с высокой степенью риска развития ВМД при отсутствии клинических проявлений болезни [26, 46].

Установлено снижение уровня ОПМП у пациентов с прогрессирующей глаукомой, у которых, по данным оптической томографии, определялось снижение толщины комплекса ганглиозных клеток в макуле, перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки и экскавация диска зрительного нерва. Данный факт связывают с постоянным хроническим окислительным стрессом, который при прогрессировании глаукомы истощает уровень МП вплоть до критических значений [29, 30, 34].

Значения ОПМП уменьшаются также при осевой миопии, особенно при прогрессирующем течении заболевания [35]. В работе N. Tong и соавт. [47] определена обратная корреляция между плотностью МП и степенью миопии при длине передне-задней оси (ПЗО) глаза более 26,0 мм. При миопии различной степени у повторно беременных выявлено достоверное снижение данного показателя к III триместру [38].

Традиционно считается, что при увеличении ПЗО за счет растяжения оболочек глазного яблока происходит истончение хориоидеи, выполняющей трофическую функцию по отношению к ретинальному пигментному эпителию и фоторецепторам, в результате чего данные структуры подвергаются дистрофическим изменениям. В то же время значимой корреляции между показателем ОПМП и толщиной хориоидеи не выявлено [35, 48].

Исследования уровня ОПМП в трех различных группах пациентов от 30 до 70 лет с катарактой до и после операции показали, что в среднем значение ОПМП до операции составило 0,511 ± 0,192 du, при этом прослеживалась обратная связь между плотностью катаракты и уровнем МП. Существенное снижение уровня ОПМП выявлено в группе пациентов старше 50 лет после операции факоэмульсификации (ФЭК) [3, 49]. В аналогичных исследованиях выявлено, что уровни ОПМП снижаются более чем на 10 % каждые 10 лет после ФЭК [31, 50]. Многими учеными предлагается определять показатель ОПМП в качестве скрининга в раннем послеоперационном периоде после ФЭК, так как обнаружено, что уменьшающийся уровень ОПМП коррелирует со снижением контрастной чувствительности и корригированной остроты зрения вдаль и вблизи [49, 51–53]. В работе T. Verdina и соавт. [54] выявлено, что через месяц после фемтосекундной лазерной хирургии катаракты толщина МП пациентов не изменилась, при этом после стандартной бимануальной ФЭК показатель плотности МП снизился, а толщина центральной области макулы увеличилась. Согласно данному исследованию, безопасной для пациентов оказалась методика фемтосекундной лазерной хирургии катаракты [50, 54].

Таким образом, высокая распространенность заболеваний глаз, таких как катаракта, глаукома, близорукость, ВМД, ДР, обуславливает необходимость исследований, направленных на их профилактику, включая изучение уровня ОПМП и его диагностической значимости.

ВЫВОДЫ

1. Показатель ОПМП является индивидуальным и зависит от многих факторов: расовой и национальной принадлежности, возраста, пола, образа жизни, питания, сопутствующей соматической патологии.

2. Уровень ОПМП является четким прогностическим маркером — данный показатель снижается при заболеваниях сетчатки, патологии хрусталика, нарушениях дренажной функции глаза, а также после различных хирургических вмешательств.

3. Плотность МП является надежным ранним критерием изменений в макулярной зоне при динамическом наблюдении различной офтальмопатологии.

Литература/References

1. *Bikbov M., Zainullin R., Gilmanshin T., et al.* Prevalence and associated factors of age-related macular degeneration in a Russian Population: The Ural Eye and Medical Study. Am. Journal of Ophthalmology. 2020; 210: 146–57. doi: 10.1016/j.ajo.2019.10.004
2. World report on vision World Health Organization. 2019. Available at: https://www.who.int/docs/default-source/documents/publications/world-vision-report-accessible.pdf.
3. *Komar B., Georgia Rauscher F., Wiedemann R., Dawczynski J.* Macular Pigment Optical Density Measurements by One-Wavelength Reflection Photometry-Influence of Cataract Surgery on the Measurement Results. Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. 2014; 252 (11): 1717–27. doi: 10.1007/s00417-014-2627-1
4. *Бадимова А.В.* Особенности эпидемиологии заболеваемости и инвалидности в связи с болезнями органов зрения в России и за рубежом. Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2020; 8 (2): 261–8. [*Badimova A.V.* Epidemiological features of eye disorders morbidity and disability in russia and abroad. Nauka molodyh (Eruditio Juvenium). 2020; 8 (2): 261–8 (in Russian)]. doi:10.23888/HMJ202082261-268
5. *Wald G.* Human vision and the spectrum. Science. 1945; 101: 653–8. doi: 10.1126/science.101.2635.653
6. *Bressler N.M., Bressler S.B., Childs A.L.* Surgery for hemorrhagic choroidalneovascular lesions of age-related macular degeneration. Ophthalmology. 2004; 111 (11): 1993–2006. doi: 10.1016/j.ophtha.2004.07.023
7. *Бикбов М.М., Файзрахманов Р.Р.* Влияние антивазопролиферативной терапии на морфофункциональные особенности классической хориоидальной неоваскуляризации у пациентов с возрастной макулярной

дегенерацией. Вестник Российской военно-медицинской академии. 2016; 2 (54): 111–5. [*Bikbov M.M., Fajzrahmanov R.R.* Influence of antivasoprolipherative therapy on morphological and functional features classic choroidal neovascularization in patients with age-related macular degeneration. Vestnik Rossijskoj voenno-medicinskoj akademii. 2016; 2 (54): 111–5 (in Russian)].
8. *Bone R.A., Landrum J.T., Friedes L.M., et al.* Distribution of lutein and zeaxanthin stereoisomers in the human retina. Exp Eye Res. 1997; 64 (2): 211–8. doi: 10.1006/exer.1996.0210
9. *Trieschmann M., van Kuijk F.J., Alexander R., et al.* Macular pigment in the human retina: histological evaluation of localization and distribution. Eye (Lond). 2008; 22 (1): 132–7. doi: 10.1038/sj.eye.6702780
10. *Snodderly D.M., Brown P.K., Delori F.C., Auran J.D.* The macular pigment. I. Absorbance spectra, localization, and discrimination from other yellow pigments in primate retinas. Invest Ophthalmol. Vis. Sci. 1984; 25 (6): 660–73.
11. *Воробьева И.В., Дементьева А.А., Дгебуадзе А.* К вопросу о состоянии сетчатки при сочетанной патологии глазного дна под влиянием антиоксидантов, ангиопротекторов, витаминов. РМЖ «Клиническая Офтальмология». 2020; 2: 104–9. [*Vorob'eva I.V., Dement'eva A.A., Dgebuadze A.* The effects of antioxidants, angioprotective agents, and vitamins on retina in complex retinal diseases. RMZh "Klinicheskaja Oftal'mologija". 2020; 2: 104–9 (in Russian)]. doi: 10.32364/2311-7729-2020-20-2-104-109
12. *Landrum J.T., Bone R.A., Moore L.L., Gomez C.M.* Analysis of zeaxanthin distribution within individual human retinas. Methods Enzymol. 1999; 299: 457–67. doi: 10.1016/s0076-6879(99)99043-2.
13. *Bone R.A., Landrum J.T., Fernandez L., Tarsis S.L.* Analysis of the Macular Pigment by HPLC:Retinal Distribution and Age Study. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 1988; 29: 843–9.
14. *Bone R.A., Landrum J.T., Hime G.W., Cains A., Zamor J.* Stereochemistry of the human macular carotenoids. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 1993; 34: 2033–40.
15. *Bone R.A., Landrum J.T., Tarsis S.L.* Preliminary identification of the human macular pigment. Vision Res. 1985; 25: 1531–5. doi: 10.1016/0042-6989(85)90123-3
16. *Зак П.П., Бухтияров И.В., Прокофьев А.Б. и др.* Разработка рефлектометрического измерительного комплекса для оценки оптической плотности макулярных пигментов и концентрации фототоксических соединений в сетчатке глаза. Медицина труда и промышленная экология. 2009; 7: 31–6. [*Zak P.P., Bukhtiyarov I.V., Prokof'ev A.B., et al.* Specification of reflectometric measurement complex to evaluate optic density of macular pigments and concentration of phototoxic chemicals in retina. Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya. 2009; 7: 31–6 (in Russian)].
17. *Chucair A.J., Rotstein N.P., Sangiovanni J.P., et al.* Lutein and zeaxanthin protect photore-ceptors from apoptosis induced by oxidative stress: relation with docosahexaenoic acid. Invest Ophthalmol. Vis. Sci. 2007; 48 (11): 5168–77. doi: 10.1167/iovs.07-0037
18. *Bone R.A., Landrum J.T., Cains A.* Optical density spectra of the macular pigment in vivo and in vitro. Vision Res. 1992; 32 (1): 105–10. doi: 10.1016/0042-6989(92)90118-3
19. *Beatty S., Koh H.H., Phil M., Henson D., Boulton M.* The role of oxidative stress in the pathogenesis of age-related macular degeneration. Surv. Ophthalmol. 2000; 45: 115–34. doi: 10.1016/s0039-6257(00)00140-5
20. *Bone R.A., Landrum J.T.* Macular pigment in Henle fiber membranes a model for Haidinger's brushes. Vision Res. 1984; 24: 103–8. doi: 10.1016/0042-6989(84)90094-4
21. *Stahl W.* Macular carotenoids: lutein and zeaxanthin. Dev. Ophthalmol. 2005; 38: 70–88. doi: 10.1159/000082768
22. *Nolan J.M., Meagher K., Kashani S., Beatty S.* What is meso-zeaxanthin, and where does it come from? Eye (Lond). 2013; 27 (8): 899–905. doi: 10.1038/eye.2013.98
23. *Müller H.* [Daily intake of carotenoids (carotenes and xanthophylls) from total diet and the carotenoid content of selected vegetables and fuit]. Z. Ernahrungswiss. 1996; 35 (1): 45–50 [in German]. doi: 10.1007/BF01612027
24. *Pipis A., Touliou E., Augustin A.J.* Macular pigment optical density in a Central European population. Ophthalmic. Surg. Lasers Imaging Retina. 2013; 44 (3): 260–7. doi: 10.3928/23258160-20130503-09
25. *Werner J.S., Donnelly S.K., Kliegl R.* Aging and human macular pigment density: Appended with translations from the work of Max Schultze and Ewald Hering. Vision Res. 1987; 27 (2): 257–68. doi: 10.1016/0042-6989(87)90188-x
26. *Бикбов М.М., Зайнуллин Р.М., Файзрахманов Р.Р.* Изменение оптической плотности макулярного пигмента как показатель формирования диабетического макулярного отека. Современные технологии в медицине. 2015; 7 (3): 73–6. [*Bikbov M.M., Zajnullin R.M., Fajzrahmanov R.R.* Macular pigment optical density alteration as an indicator of diabetic macular edema development. Sovremennye tekhnologii v medicine. 2015; 7 (3): 73–6 (in Russian)].
27. *Бикбов М.М., Файзрахманов Р.Р., Зайнуллин Р.М., Каланов М.Р., Зайнетдинов А.Ф.* Особенности динамики состояния макулярного пигмента и светочувствительности центральной зоны сетчатки на фоне витреоретинальной хирургии при диабетическом макулярном отеке. Офтальмохирургия. 2018; 1: 26–30. [*Bikbov M.M., Fayzrakhmanov R.R., Zainullin R.M., Kalanov M.R., Zaynetdinov A.F.* Features in dynamics of macular pigment status and central retinal sensitivity in vitreoretinal surgery for diabetic macular edema. Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery. 2018; (1): 26–30 (in Russian)]. https://doi.org/10.25276/0235-4160-2018-1-26-30
28. *Зыкова А.В., Юшкова И.С., Рзаев В.М., Эскина Э.Н.* Возможности ранней диагностики и динамического наблюдения течения возрастной макулярной дегенерации. Вестник офтальмологии. 2014; 3: 60–6. [*Zykova A.V., Jushkova I.S., Rzaev V.M., Eskina Je.N.* Possibilities for early diagnosis and monitoring of age-related macular degeneration. Vestnik oftal'mologii. 2014; 3: 60–6 (in Russian)].
29. *Эскина Э.Н., Зыкова А.В.* Ранние критерии риска развития глаукомы у пациентов с близорукостью. Офтальмология. 2014; 11 (2): 59–63. [*Eskina E.N., Zykova A.V.* Early glaucoma risk factors in myopia. Ophthalmology in Russia. 2014; 11 (2): 59–63 (in Russian)]. https://doi.org/10.18008/1816-5095-2014-2-59-63
30. *Igras E., Loughman J., Ratzlaff M., et al.* Evidence of lower macular pigment optical density in chronic open angle glaucoma. Br. J.Ophthalmol. 2013; 97 (8): 994–8. doi: 10.1136/bjophthalmol-2013-30315
31. *Dennison J., Beatty S., O Regan G., et al.* Impact of macular pigment on visual performance. Actual.Optometry. 2013; 2: 28–33.
32. *Nolan J.M., Loughman J., Akkali M.C., et al.* The impact of macular pigment augmentation on visual performance in normal subjects: COMPASS. Vision Research. 2011; 51 (5): 459–69. doi: 10.1016/j.visres.2010.12.016
33. *Loughman J., Davison P.A., Nolan J.M.* Macular pigment and its contribution to visual performance and experience. Optometry. 2010; 3 (2): 74–90.
34. *Siah, W.F.; Loughman, J.; O'Brien C.* Lower macular pigment optical Density in foveal-involved glaucoma. Ophthalmology.2015; 122 (10): 2029–37. doi: 10.1016/j.ophtha.2015.06.028
35. *Эскина Э.Н., Егоров Е.А., Белогурова А.В., Гветадзе А.А., Степанова М.А.* Роль измерения оптической плотности макулярного пигмента в диагностике глазных заболеваний. РМЖ «Клиническая Офтальмология». 2016; 4: 197–200. [*Eskina E.N., Egorov E.A., Belogurova A.V., Gvetadze A.A., Stepanova M.A.* The role of the macular pigment optical density measurement in the diagnosis of eye diseases. RMZh "Klinicheskaja Oftal'mologija". 2016; 4: 197–200 (in Russian)].
36. *Yu J., Johnson E.J., Shang F., et al.* Measurement of macular pigment optical density in a healthy Chinese population sample. Invest Ophthalmol. Vis. Sci. 2012; 53 (4): 2106–11. doi: 10.1167/iovs.11-8518
37. *Abell R.G., Hewitt A.W., Andric M., et al.* The use of heterochromatic flicker photometry to determine macular pigment optical density in a healthy Australian population. Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. 2014; 252 (3): 417–21. doi: 10.1007/s00417-013-2554-6
38. *Хомякова Е.Н., Сергушев С.Г., Рябцева А.А., Андрюхина О.М.* Определение оптической плотности макулярного пигмента у повторно беременных. Альманах клинической медицины. 2013; 29: 14–22. [*Khomjakova E.N., Sergushev S.G., Rjabceva A.A., Andryukhina O.M.* Detection of optical density of the macular pigment in secondary gestation. Al'manakh klinicheskoj mediciny. 2013; 29: 14–22 (in Russian)].
39. *Neelam K., Ho H., Yip C.C., Li W., Eong Kah-Guan Au.* The spatial profile of macular pigment in subjects from a Singapore Chinese population. Invest Ophthalmol. Vis. Sci. 2014; 55 (4): 2376–83. doi: 10.1167/iovs.13-13470
40. *Howells O., Eperjesi F., Bartlett H.* Macular pigment optical density in young adults of South Asian origin. Invest Ophthalmol. Vis. Sci. 2013; 54 (4): 2711–9. doi: 10.1167/iovs.12-10957
41. *Raman R., Rajan R., Biswas S., Vaitheeswaran K., Sharma T.* Macular pigment optical density in a South Indian population. Invest Ophthalmol. Vis. Sci. 2011; 52 (11): 7910–6. doi: 10.1167/iovs.11-7636
42. *Nagai N., Asato T., Minami S., et al.* Correlation between macular pigment optical density and neural thickness and volume of the retina. Nutrients. 2020; 12 (4): 888. doi: 10.3390/nu12040888
43. *Ren X.T., Gu H., Han X., et al.* Measurement of macular pigment optical density among healthy Chinese people and patients with early-stage age-related macular degeneration. Int. J. Ophthalmol. 2015; 8 (6): 1190–5. doi: 10.3980/j.issn.2222-3959.2015.06.20
44. *Bikbov M., Gilmanshin T., Zainullin R., et al.* Prevalence and associated factors of diabetic retinopathy in a Russian Population. The Ural eye and medical study. Diabetes Metab. Syndr. Obes. 2021 Dec 3; 14: 4723–34. doi: 10.2147/DMSO.S340211.
45. *Cennamo G., Lanni V., Abbate R., et al.* The relationship between macular pigment and vessel density in patients with type 1 diabetes mellitus. Ophthalmic. Res. 2019; 61 (1): 19–25. doi: 10.1159/000492897
46. *Бикбов М.М., Файзрахманов Р.Р., Ярмухаметова А.Л., Зайнуллин Р.М.* Структурно-функциональный анализ центральной зоны сетчатки у пациентов с диабетическим макулярным отеком. Сахарный диабет. 2015; 18 (4): 99–104. [*Bikbov M.M., Fayzrakhmanov R.R., Yarmuhametova A.L., Zainullin R.M.* Analysis of the central zone of the retina in patients with diabetic

macular edema. Diabetes mellitus. 2015; 18 (4): 99–104 (in Russian)]. https://doi.org/10.14341/DM7126
47. *Tong N., Zhang W., Zhang Z., et al.* Inverse relationship between macular pigment optical density and axial length in Chinese subjects with myopia. Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. 2013; 251 (6): 1495–500. doi: 10.1007/s00417-012-2225-z
48. *Czepita M., Karczewicz D., Safranow K., Czepita D.* Macular pigment optical density and ocular pulse amplitude in subjects with different axial lengths and refractive errors. Med. Sci. Monit. 2015; 21: 1716–20. doi: 10.12659/MSM.893225
49. *Demirel S., Bilici S., Batıoglu F., Ozmert E.* The effect of age and cataract surgery on macular pigment optic density: a cross-sectional, comparative study. Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. 2014; 252 (2): 213–8. doi: 10.1007/s00417-013-2424-2
50. *Obana A., Gohto Y., TanitoM., et al.* Effect of age and other factors on macular pigment optical density measured with resonance Raman spectroscopy Graefes. Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. 2014; 252 (8): 1221–8. doi: 10.1007/s00417-014-2574-x
51. *Sasamoto Y., Gomi F., Sawa M., et al.* Effect of cataract in evaluation of macular pigment optical density by autofluorescence spectrometry. Invest Ophthalmol. Vis. Sci. 2011; 52 (2): 927–32. doi: 10.1167/iovs.10-5664
52. *Obana A., Gohto Y., Sasano H., et al.* Grade of cataract and its influence on measurement of macular pigment optical density using autofluorescence imaging. Invest Ophthalmol. Vis. Sci. 2018; 59 (7): 3011–19. doi: 10.1167/iovs.17-23699
53. *Лаврик Н.С., Мусса М., Гуржий Ю.М.* Исследование связи показателя оптической плотности макулярного пигмента с функциональными показателями глаз после операции ФЭК. Офтальмология. Восточная Европа. 2014; 4 (23): 76–81. [*Lavrik N.S., Moussa M., Gurgy Ju. M.* Research of the relationship between the values of macular pigment optical density index and visuals performance after phacoemulsification. Oftal'mologija. Vostochnaja Evropa. 2014; 4 (23): 76–81 (in Russian)].
54. *Verdina T., Date P., Benatti C., et al.* Evaluation of macular pigment optical density following femtosecond laser-assisted cataract surgery. Clinical. Ophthalmology. 2019; 13: 821–8. doi: 10.2147/OPTH.S196061

Вклад авторов в работу: И.П. Пономарев, Е.Н. Матюхина — разработка концепции и дизайна обзора, сбор данных литературы и их интерпретация; Н.Б. Зайнуллина, Э.Л. Усубов, М.М. Бикбов — написание и финальная подготовка статьи к публикации.
Author's contribution: I.P. Ponomarev, E.N. Matyukhina — concept and design of the review, literature data collection and interpretation; N.B. Zaynullina, E.L. Usubov, M.M. Bikbov — writing and final preparation of the article for publication.

Поступила: 18.09.2020. Переработана: 02.02.2021. Принята к печати: 04.02.2021
Originally received: 18.09.2020. Final revision: 02.02.2021. Accepted: 04.02.2021

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ГБУ «Уфимский НИИ глазных болезней Академии наук Республики Башкортостан», ул. Пушкина, д. 90, 450008, Уфа, Россия
Мухаррам Мухтарамович Бикбов — д-р мед. наук, профессор, директор
Эмин Логман оглы Усубов — канд. мед. наук, заведующий отделением хирургии роговицы и хрусталика
Нелли Булатовна Зайнуллина — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения хирургии роговицы и хрусталика
Екатерина Николаевна Матюхина — врач-офтальмолог взрослого консультативно-поликлинического отделения
Ильдар Петрович Пономарев — врач-офтальмолог 1-го микрохирургического отделения

Для контактов: Ильдар Петрович Пономарев,
il-darin@mail.ru

Ufa Eye Research Institute, 90, Pushkin St., Ufa, Bashkortostan, 450008, Russia
Mukharram M. Bikbov — Dr. of Med. Sci, professor, director
Emin L. Usubov — Cand. of Med. Sci., head of corneal and lens surgery unit
Nelly B. Zaynullina — Cand. of Med. Sci., senior researcher of the department of corneal and lens surgery
Ekaterina N. Matyukhina — ophthalmologist of the adult consultative polyclinic department
Ildar P. Ponomarev — ophthalmologist of the #1 microsurgery department

Contact information: Ildar P. Ponomarev,
il-darin@mail.ru