

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

УДК 617.735-002-02: 616.633.66: 617.736-005.98
© Е.Ю. Полякова, П.Л. Володин, Е.В. Иванова, 2022

Е.Ю. Полякова, П.Л. Володин, Е.В. Иванова
**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЛАЗЕРНОГО ЛЕЧЕНИЯ
ФОКАЛЬНОГО ДИАБЕТИЧЕСКОГО МАКУЛЯРНОГО ОТЕКА**
ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова»
Минздрава России, г. Москва

Диабетическая ретинопатия (ДР) является заболеванием, входящим в группу ишемических ретинопатий, распространенность которого прогрессирует. Как известно, основной причиной утраты трудоспособности при сахарном диабете (СД) является диабетический макулярный отек (ДМО). В статье приведен обзор отечественной и зарубежной литературы, посвященный актуальным методам лазерного лечения фокального диабетического макулярного отека. Современный и неинвазивный диагностический метод – оптическая когерентная томография-ангиография (ОКТ-А) – явился существенным прогрессом в визуализации микроциркуляторного русла и слоев сетчатки и хориоидеи в клинко-диагностических исследованиях макулярного отека при ДР. Подчеркнута необходимость мультимодального подхода к ведению пациентов с диабетическим макулярным отеком для улучшения клинко-функциональных результатов лечения. Описаны применяемые в настоящее время технологии лечения диабетического макулярного отека и их преимущества и недостатки, а также приведены данные об анатомическом и функциональном результатах. Рассмотрены перспективы дальнейшего совершенствования и использования инновационных лазерных технологий, основанных на системах навигации и данных мультимодальной визуализации.

Ключевые слова: диабетическая ретинопатия, диабетический макулярный отек, оптическая когерентная томография в ангиорежиме, лазерное лечение.

E.Iu. Polyakova, P.L. Volodin, E.V. Ivanova
**MODERN METHODS OF LASER TREATMENT
OF FOCAL DIABETIC MACULAR EDEMA**

Diabetic retinopathy (DR) is a disease belonging to the group of ischemic retinopathy, the prevalence of which is progressing. As it is known, the main cause of disability in diabetes mellitus is diabetic macular edema (DME). The article provides a review of domestic and foreign literature on topical methods of laser treatment of focal DME. A modern and non-invasive diagnostic method – optical coherence tomography-angiography has been a significant progress in the visualization of the microcirculatory bed, as well as the layers of the retina and choroid in clinical diagnostic studies of macular edema in DR. The necessity of a multimodal approach to the management of patients with DME to improve the clinical and functional results of treatment is emphasized. The currently used technologies for the treatment of DME, their advantages and disadvantages are described, data on the anatomical and functional result are given. The prospects of further improvement and use of combined techniques in the treatment of DME are considered. The prospects of further improvement and use of innovative laser technologies based on navigation systems and multimodal visualization data are considered.

Key words: diabetic retinopathy, diabetic macular edema, optical coherence tomography in angio mode, laser treatment.

Исходя из глобального доклада ВОЗ (2018) по сахарному диабету (СД) во всем мире наблюдается прогрессирующий рост заболеваемости данной патологией [1]. Основной причиной снижения зрения у пациентов с СД является диабетический макулярный отек (ДМО). Данное заболевание занимает лидирующую позицию среди всех причин утраты центрального зрения у лиц трудоспособного возраста в экономически развитых странах, поэтому крайне важным аспектом в решении данной проблемы является выявление ДМО на ранних доклинических стадиях [2].

Флюоресцентная ангиография (ФАГ) по данным зарубежной литературы на протяжении многих лет являлась важным инструментом в диагностике ДМО. В 2014 г. впервые был проведен сравнительный анализ диагностических данных ОКТ и ФАГ у пациентов с ДМО, на основании которого сделан вывод о том, что результаты диагностики как совпадают, так и дополняют друг друга [3]. Появ-

ление новых высокоинформативных методов диагностики, таких как оптическая когерентная томография высокого разрешения (ОКТ) и оптическая когерентная томография с ангиографией – ОКТ-ангиография, открывает новые возможности для малоинвазивного изучения структурных анатомо-топографических и функциональных изменений сетчатки и хориоретинального комплекса до и после малоинвазивных лазерных вмешательств, что позволяет достоверно оценивать результаты проведенного лечения [4].

Согласно рекомендациям Международного совета офтальмологов по лечению ДМО от 2017 г. у пациентов с центральной толщиной сетчатки более 400 мкм с максимально скорректированной остротой зрения менее 0,6 методом лечения «первой линии» ДМО служит фармакологический подход с использованием интравитреального введения антиангиогенных и противовоспалительных препаратов, однако лазерная коагуляция сетчатки

не потеряла своей актуальности [4]. Обращая внимание на ежегодный рост заболеваемости СД, а также потерю зрительных функций вследствие развития ДМО, данное заболевание необходимо рассматривать как тяжелое бремя для систем здравоохранения большинства стран. Исходя из вышесказанного, следует обратить внимание на проблему эффективности ранней диагностики и лечения ДМО. В данном обзоре мы изучим возможности современных методов лазерного лечения фокального ДМО.

Лазерное лечение ДМО в пороговом режиме непрерывным лазерным излучением

Лазерная коагуляция сетчатки в пороговом режиме являлась стандартом для лечения ДМО в течение четырех десятилетий. Впервые в 1985 г. группой экспертов по изучению раннего лечения ДР ETDRS (Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Research Group) решетчатая коагуляция и фокальная лазерная коагуляция были рекомендованы для лечения ДМО, расположенного в пределах двух диаметров диска от центра макулы. Данные методики выполняются в пределах 500-3000 мкм от фovea и не ближе 500 мкм от диска зрительного нерва.

Механизм действия решетчатой лазерной коагуляции в большинстве случаев основан на разрушении ишемизированной сетчатки, что приводит к улучшению оксигенации прилежащих к зоне воздействия участков сетчатки, снижению продукции проангиогенных факторов, а также высвобождению цитокинов из пигментного эпителия сетчатки и клеток Мюллера. Напротив, фокальная лазеркоагуляция приводит к снижению просачивания жидкости из микроаневризм и интратретиальных микрососудистых аномалий [4].

Несмотря на свою эффективность, пороговые методики лечения ДМО по сведениям ETDRS могут вызывать побочные эффекты в виде увеличения концентрации провоспалительных цитокинов, образования хориоидальной неоваскуляризации, субретинального фиброза, появлению микроскотом в поле зрения пациента, а также снижения контрастной чувствительности сетчатки [4]. Такие отрицательные последствия лазерной коагуляции побудили многих ретинологов стремиться сократить продолжительность лазерного воздействия и использовать менее видимые лазеркоагуляты, чем первоначально предлагаемые ETDRS.

В рандомизированном контролируемом исследовании с 12-месячным наблюдением оценивались результаты лечения после при-

менения модифицированного лазерного протокола ETDRS и «мягкой макулярной решетчатой лазерной коагуляции», которая была разработана для профилактики вышеуказанных осложнений. Исходя из данных исследования, уменьшение центральной толщины сетчатки (ЦТС) было значительнее в группе пациентов, пролеченных по модифицированному лазерному протоколу ETDRS. По результатам данного исследования не было отмечено отличий в изменении средней максимально скорректированной остроты зрения (МКОЗ), это говорило о том, что модифицированная фокальная лазеркоагуляция ETDRS должна оставаться стандартом для лечения ДМО [5].

Так, несмотря на осложнения и нежелательные послеоперационные исходы, метод пороговой лазеркоагуляции был «золотым стандартом» на протяжении четырех десятков лет с которым до настоящего времени сравниваются новые методы лечения.

Лазерное лечение ДМО в субпороговом режиме с непрерывным лазерным излучением

Под понятием «субпороговая лазеркоагуляция» подразумевается следующий шаг в развитии уменьшения лазерно-индуцированного повреждения сетчатки. В клинической субпороговой лазеркоагуляции во время лечения лазерные аппликаты офтальмоскопически не видимы. Однако их можно увидеть после тестирования энергетических параметров и лечения с помощью методов мультимодальной визуализации, таких как аутофлюоресценция и/или ОКТ [6].

Лечение ДМО в непрерывном субпороговом режиме с положительными функциональными результатами впервые было продемонстрировано (Murakami A., 2010) на примере лазеркоагуляции с короткими импульсами (10-30 мс) в режиме continuous wave (CW) на лазерной установке («PASCAL», Topcon Medical Systems, Окленд, штат Нью-Джерси, США) [7]. Данная лазеркоагуляция обладает низкой интенсивностью и проводится с помощью короткоимпульсного (10-30 мс) непрерывного лазера, благодаря чему лазерное излучение ограничивается повреждением наружных слоев сетчатки – РПЭ, слоя фоторецепторов и наружного ядерного слоя.

Биологический ответ на субпороговое лазерное воздействие является предметом научной дискуссии в различных исследованиях, однако основным биологическим эффектом считается увеличение экспрессии белков теплового шока (HSP) [7,11]. Данный биоло-

гический эффект может быть связан с измененной экспрессией генов в зонах РПЭ, окружающих лазерный аппликатор. Согласно данным литературы повышение температуры ткани сетчатки ниже порога некроза приводит к усилению экспрессии и регуляции HSP каждый раз, когда клетки подвергаются стрессовым ситуациям, таким как гипертермия, переохлаждение и ишемия [8]. Белки теплового шока (HSP) играют важную роль в поддержании правильной структуры белка, они помогают повторно «укладывать» белки, которые были повреждены во время стресса и способствуют формированию новых белков с «правильной укладкой» [9,11]. Данная группа белков HSP экспрессируется в качестве белков-комперонов, которые помогают в свертывании денатурированных белков и защищают клетки сетчатки от апоптоза и воспаления [9,11]. Считается, что экспрессия HSP70 в результате субпорогового лазерного воздействия в непрерывном режиме играет важную роль в резорбции макулярного отека [9,11].

Микроимпульсное лазерное воздействие в лечении ДМО

Лечение ДМО в микроимпульсном режиме с положительными функциональными результатами в начале 1990-х годов было продемонстрировано J. Roeder на примере селективной ретиальной терапии (SRT) [10]. Данные ряда исследователей показали, что микроимпульсное лазерное излучение при селективной ретиальной терапии нацелено на внутриклеточные меланосомы. В результате этого меланосомы испаряются, создавая микропузырьки, которые «разрывают» ретиальный пигментный эпителий (РПЭ), не вызывая термического повреждения нижележащих хориокапилляров, вышележащих фоторецепторов и внутренней сетчатки [11]. Целью данного лазерного воздействия являются ограничение лазерной энергии целевым РПЭ и стимуляция близлежащего РПЭ для миграции и пролиферации клеток в этих областях в зону патологического и нефункционирующего РПЭ.

В ряде экспериментальных клинических исследований была продемонстрирована эффективность селективной ретиальной терапии (СРТ), используемой для лечения ДМО. J. Roeder с соавт. выявил, что СРТ потенциально эффективна и безопасна для лечения клинически значимого ДМО, по данным публикации, функциональное и анатомическое восстановление отмечалось у 84% пациентов [10]. Никаких побочных явлений не было зарегистрировано ни во время лечения, ни после него.

Точный механизм действия микроимпульсного лазерного воздействия (МИВ) остается предметом научной дискуссии, однако недавно E. Midena с соавт. провели протеомный анализ водянистой влаги, чтобы определить, на экспрессию каких цитокинов влияет МИВ [12]. По данным исследований было выявлено, что у пациентов с ДМО наблюдается повышение показателей Fas-лиганда, макрофагальных воспалительных белков 1-альфа, регулируемых при активации экспрессируемых и секретируемых нормальных Т-лимфоцитов, глиального фибриллярного кислого белка и VEGF по сравнению с пациентами, не страдающими диабетом. Также в исследовании было отмечено, что после МИВ уровни этих цитокинов снизились. Стрессиндуцированный ответ на данное лазерное воздействие способствует восстановлению метаболизма и функций клеток Мюллера и микроглии сетчатки, а также активации процессов репарации, снижению продукции воспалительных цитокинов, фактора роста эндотелия сосудов и матриксных металлопротеиназ.

Долгосрочная безопасность микроимпульсного лазерного воздействия у пациентов с ДМО подтверждается учеными, изучающими риск необоснованного повреждения сетчатки по данным аутофлуоресценции на 252 глазах пациентов с ДМО, пролеченных в микроимпульсном режиме. Срок наблюдения в послеоперационном периоде составил 10 лет [13]. Ожоги сетчатки были отмечены в 7 глазах, обработанных рабочим циклом 10 или 15%. Лазерного повреждения сетчатки не было обнаружено на всех глазах, обработанных 5% рабочим циклом. В этом же исследовании для расчета температурной модели зоны лазерного воздействия на сетчатку были рассмотрены параметры микроимпульсного лазерного воздействия, используемые в клинической практике для изучения риска летального повреждения РПЭ.

Исходя из анализа данных исследований, стоит отметить, что микроимпульсное воздействие является эффективным методом лечения диабетического макулярного отека. Параметры микроимпульсного лечения значительно отличались в различных включенных в анализ исследованиях. Подбор индивидуальных параметров, вероятно, является наиболее сложной частью лечения, поскольку в настоящее время недостаточно опубликованных данных, позволяющих выбрать лучшие энергетические параметры и оценить безопасность и эффективность микроимпульсного лазерного лечения с фиксированными параметрами.

Навигационные лазерные технологии в лечении ДМО

Перспективным направлением в аспекте повышения эффективности и безопасности лечения фокального ДМО может рассматриваться применение инновационных лазерных технологий, основанных на системах навигации и данных мультимодальной визуализации. Впервые лечение ДМО с помощью навигационной системы Navilas 577s (OD-OS, Teltow, Германия) применили Э.В. Бойко и Д.С. Мальцев. Они с помощью импортирования в навигационную систему ОКТ-сканогамм центральной толщины, выполненных в ретро-режиме, после предварительного планирования операции проводили пациентам лазерную решетчатую коагуляцию по зоне отека без затрагивания ФАЗ [14]. В 2020 г. группой исследователей D.S. Maltsev, A.N. Kulikov, M.A. Burnasheva, A.A. Kazak, J. Chhablani был проведен анализ эффективности навигационной фокальной лазерной коагуляции микроаневризм при диабетическом макулярном отеке с использованием фронтальной оптической когерентной томографии [15]. М. Ecsedy с соавт. в 2020 г. было выявлено, что воздействие по зоне ДМО без захвата ФАЗ в микроимпульсном режиме на основе навигации по данным ОКТ-сканогамм центральной толщины сетчатки (ЦТС) является безопасным и эффективным вариантом лечения диабетического макулярного отека, а также данный метод лечения уменьшает количество инъекций препаратов группы анти-VEGF [16]. П.Л. Володиным с соавт. в 2021 г. была оценена клиническая эффективность таргетного субпорогового лечения диабетической макулопатии с фокальным диабетическим макулярным отеком на лазере Navilas 577s [17]. Лечение проводилось после комплексного анализа ОКТ-А-сканогамм на уровне глубокого сосудистого комплекса и поверхностного сосудистого сплетения, по зонам ишемии и микроаневризм в непрерывном режиме, исключая фовеальную аваскулярную зону, а в микроимпульсном режиме по зонам отека, включая фовеальную аваскулярную зо-

ну при распространении отека на нее. Результаты исследования, заключающиеся в повышении максимально корригированной остроты зрения, центральной светочувствительности сетчатки, снижении ЦТС и площади зон неперфузии в сроки 1 и 3 месяца свидетельствуют об эффективности навигационного субпорогового лазерного лечения ДМО, основанного на прицельном топографически ориентированном лазерном воздействии по данным ОКТ-ангиографии.

Заключение

Лазеркоагуляция сетчатки по типу «решетки» являлась стандартным методом лечения диабетического макулярного отека с доказанной эффективностью на протяжении четырех десятилетий. В дальнейшем для лечения фокального ДМО был предложен метод модифицированной решетчатой коагуляции. Несмотря на свою положительную результативность, фокальная макулярная лазеркоагуляция по рекомендациям ETDRS может вызывать определенные побочные эффекты. Дальнейшее изучение лазерного воздействия на хориокапиллярный комплекс (ХПК) показало, что для получения тканевого ответа в ряде ситуаций нет необходимости в необратимом повреждении структуры ХПК, и потому достичь терапевтического эффекта можно, используя щадящие энергетические параметры.

Методы субпороговой лазерной коагуляции сетчатки и микроимпульсного лазерного воздействия в лечении ДМО, при которых отсутствуют видимые повреждения сетчатки, на протяжении многих лет показали свою эффективность. Данные методы лечения, по мнению многих авторов, являются безопасными, что позволяет проводить повторные сеансы лечения, в том числе в непосредственной близости к фовеальной аваскулярной зоне. Перспективным направлением в аспекте повышения эффективности и безопасности лечения фокального ДМО может рассматриваться применение инновационных лазерных технологий, основанных на системах навигации и данных мультимодальной визуализации.

Сведения об авторах статьи:

Полякова Екатерина Юрьевна – аспирант отдела лазерной хирургии сетчатки ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С. Н. Федорова МЗ РФ. Адрес: 127486, г. Москва, Бескудниковский бульвар, 59а. E-mail: ekaterinapolyakova17@yandex.ru. ORCID: 0000-0002-1171-7504.

Володин Павел Львович – д.м.н., заведующий отделом лазерной хирургии сетчатки ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С. Н. Федорова МЗ РФ. Адрес: 127486, г. Москва, Бескудниковский бульвар, 59а.

Иванова Елена Владимировна – к.м.н., врач-офтальмолог отдела лазерной хирургии сетчатки ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С. Н. Федорова МЗ РФ. Адрес: 127486, г. Москва, Бескудниковский бульвар, 59а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глобальный доклад по диабету [Global report on diabetes]. Женева: Всемирная организация здравоохранения. – 2018. – 88 с. Лицензия: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
2. Hendrick, A.M. Diabetic Retinopathy/ A.M. Hendrick, M.V. Gibson, A. Kulshreshtha// Prim Care. – 2015. – Sep. – Vol. 42, № 3. – P. 451-64.

3. Fluorescein angiography versus optical coherence tomography-guided planning for macular laser photocoagulation in diabetic macular edema/ I. Kozak [et al.] // *Retina*. – 2014. – Vol. 34. – P. 1600–1605.
4. Guidelines for the Management of Diabetic Macular Edema by the European Society of Retina Specialists (EURETINA) / Ursula Schmidt-Erfurth [et al.] // *Ophthalmologica*. – 2017. – Epub 2017 Apr 20. – Vol. 237, №4. – P. 185–222.
5. Comparison of the modified Early Treatment Diabetic Retinopathy Study and mild macular grid laser photocoagulation strategies for diabetic macular edema. Writing Committee for the Diabetic Retinopathy Clinical Research Network/ D.S. Fong [et al.] // *Archives of Ophthalmology*. – 2007. – Apr. – Vol. 125, №4. – P. 469–480.
6. Takatsuna, Y. Long-term therapeutic efficacy of the subthreshold micropulse diode laser photocoagulation for diabetic macular edema/ Y. Takatsuna, S. Yamamoto, Y. Nakamura // *Jpn J Ophthalmol*. – 2011. – Vol. 55. – P. 365–9.
7. Murakami A. Subthreshold Photocoagulation Using Endpoint Management in the PASCAL® System for Diffuse Diabetic Macular Edema// *J Ophthalmol*. – 2011. – Vol. Jan 31;2018:7465794.
8. Non-damaging retinal phototherapy: Dynamic range of heat shock protein expression/ C. Sramek [et al.] // *Invest Ophthalmol Vis Sci*. – 2011. – Vol. 52. – P. 1780–7.
9. Heat shock protein 70 expression induced by diode laser irradiation on choroid-retinal endothelial cells in vitro/ S. Du [et al.] // *Molecular Vision*. – 2012. – Vol. 18. – P. 2380–2387.
10. Response of the retinal pigment epithelium to selective photocoagulation/ J. Roider [et al.] // *Archives of Ophthalmology*. – 1992. – Vol. 110. – P. 1786–1792.
11. Macular laser photocoagulation in the management of diabetic macular edema: Still relevant in 2020? / M. Zas [et al.] // *Taiwan J Ophthalmol*. – 2020. – Vol. 10, №2. – P. 87–94.
12. Changes of aqueous humor müller cells' biomarkers in human patients affected by diabetic macular edema after subthreshold micropulse laser treatment/ E. Midena E [et al.] // *Retina*. – 2020. – Vol. 40. – P. 126–34.
13. Longterm safety, high-resolution imaging, and tissue temperature modeling of subvisible diode micropulse photocoagulation for retinovascular macular edema/ J.K. Luttrull [et al.] // *Retina*. – 2012. – Vol. 32. – P. 375–86.
14. Retro-Mode Scanning Laser Ophthalmoscopy Planning for Navigated Macular Laser Photocoagulation in Macular Edema/ V. Boiko [et al.] // *Journal of Ophthalmology*. – 2016. – Vol. 2016. – P. 1–7.
15. Efficacy of navigated focal laser photocoagulation in diabetic macular edema planned with en face optical coherence tomography versus fluorescein angiography/ D.S. Maltsev [et al.] // *Int Ophthalmol*. – 2020. – Vol. 40, №8. – P. 1913–1921.
16. Első tapasztalataink diabeteses maculopathia Navilas® 577s mikropulzuslézer-készülékkel történő kezelésével [First experiences with Navilas® 577s micropulse laser in the treatment of diabetic maculopathy/ M. Ecsedy [et al.] // *Orv Hetil*. – 2020. – Vol. 161, №49. – P. 2078–2085.
17. Володин П.Л. Клиническая эффективность субпорогового лазерного лечения фокального диабетического макулярного отека с использованием навигационной системы (краткосрочные результаты)/ П.Л. Володин, Е.В. Иванова, Е.Ю. Полякова// *Современные технологии в офтальмологии*. – 2021. – № 3. – С. 217–221.

REFERENCES

1. Global'nyj doklad po diabetu [Global report on diabetes]. Zheneva: Vsemirnaya organizacija zdrazvoohranenija. – 2018. – 88 s. Licenzija: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. (In Russ).
2. Hendrick, A.M. Diabetic Retinopathy/ A.M. Hendrick, M.V. Gibson, A. Kulshreshtha// *Prim Care*. – 2015. – Sep. – Vol. 42, № 3. – P. 451–64. (in Engl.).
3. Fluorescein angiography versus optical coherence tomography-guided planning for macular laser photocoagulation in diabetic macular edema/ I. Kozak [et al.] // *Retina*. – 2014. – Vol. 34. – P. 1600–1605. (in Engl.).
4. Guidelines for the Management of Diabetic Macular Edema by the European Society of Retina Specialists (EURETINA) / Ursula Schmidt-Erfurth [et al.] // *Ophthalmologica*. – 2017. – Epub 2017 Apr 20. – Vol. 237, №4. – P. 185–222. (in Engl.).
5. Comparison of the modified Early Treatment Diabetic Retinopathy Study and mild macular grid laser photocoagulation strategies for diabetic macular edema. Writing Committee for the Diabetic Retinopathy Clinical Research Network/ D.S. Fong [et al.] // *Archives of Ophthalmology*. – 2007. – Apr. – Vol. 125, №4. – P. 469–480. (in Engl.).
6. Takatsuna, Y. Long-term therapeutic efficacy of the subthreshold micropulse diode laser photocoagulation for diabetic macular edema/ Y. Takatsuna, S. Yamamoto, Y. Nakamura // *Jpn J Ophthalmol*. – 2011. – Vol. 55. – P. 365–9. (in Engl.).
7. Murakami A. Subthreshold Photocoagulation Using Endpoint Management in the PASCAL® System for Diffuse Diabetic Macular Edema// *J Ophthalmol*. – 2011. – Vol. Jan 31;2018:7465794. (in Engl.).
8. Non-damaging retinal phototherapy: Dynamic range of heat shock protein expression/ C. Sramek [et al.] // *Invest Ophthalmol Vis Sci*. – 2011. – Vol. 52. – P. 1780–7. (in Engl.).
9. Heat shock protein 70 expression induced by diode laser irradiation on choroid-retinal endothelial cells in vitro/ S. Du [et al.] // *Molecular Vision*. – 2012. – Vol. 18. – P. 2380–2387. (in Engl.).
10. Response of the retinal pigment epithelium to selective photocoagulation/ J. Roider [et al.] // *Archives of Ophthalmology*. – 1992. – Vol. 110. – P. 1786–1792. (in Engl.).
11. Macular laser photocoagulation in the management of diabetic macular edema: Still relevant in 2020? / M. Zas [et al.] // *Taiwan J Ophthalmol*. – 2020. – Vol. 10, №2. – P. 87–94. (in Engl.).
12. Changes of aqueous humor müller cells' biomarkers in human patients affected by diabetic macular edema after subthreshold micropulse laser treatment/ E. Midena E [et al.] // *Retina*. – 2020. – Vol. 40. – P. 126–34. (in Engl.).
13. Longterm safety, high-resolution imaging, and tissue temperature modeling of subvisible diode micropulse photocoagulation for retinovascular macular edema/ J.K. Luttrull [et al.] // *Retina*. – 2012. – Vol. 32. – P. 375–86. (in Engl.).
14. Retro-Mode Scanning Laser Ophthalmoscopy Planning for Navigated Macular Laser Photocoagulation in Macular Edema/ V. Boiko [et al.] // *Journal of Ophthalmology*. – 2016. – Vol. 2016. – P. 1–7. (In Russ).
15. Efficacy of navigated focal laser photocoagulation in diabetic macular edema planned with en face optical coherence tomography versus fluorescein angiography/ D.S. Maltsev [et al.] // *Int Ophthalmol*. – 2020. – Vol. 40, №8. – P. 1913–1921. (in Engl.).
16. Első tapasztalataink diabeteses maculopathia Navilas® 577s mikropulzuslézer-készülékkel történő kezelésével [First experiences with Navilas® 577s micropulse laser in the treatment of diabetic maculopathy/ M. Ecsedy [et al.] // *Orv Hetil*. – 2020. – Vol. 161, №49. – P. 2078–2085. (In Hungary).
17. Volodin P.L. Klinicheskaja jeffektivnost' subporogovogo lazernogo lechenija fokal'nogo diabeticeskogo makuljarnogo oteka s ispol'zovaniem navigacionnoj sistemy (kratkosrochnye rezul'taty)/ P.L. Volodin, E.V. Ivanova, E.Ju. Poljakova// *Sovremennye tehnologii v oftal'mologii*. – 2021. – № 3. – S. 217–221. (In Russ).