



ОБЗОРЫ ЛИТЕРАТУРЫ LITERATURE REVIEWS

Обзор литературы

УДК 617.735

DOI: <https://doi.org/10.25276/2410-1257-2025-1-45-50>

© Фролов А.М., Дулани Ф.Т., Фролов М.А., Копченова Ю.Г., 2025

Микроциркуляция глазного дна при хронической сердечной недостаточности (обзор литературы)

А.М. Фролов¹, Ф.Т. Дулани^{1, 2}, М.А. Фролов¹, Ю.Г. Копченова^{1, 2}

¹Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия

²Городская клиническая больница № 52 Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

РЕФЕРАТ

В данном обзоре литературы рассматриваются изменения микрососудистого русла сетчатки при хронической сердечной недостаточности (ХСН). При сердечной недостаточности эндотелиальные клетки сосудов становятся мишенью для различных патофизиологических процессов, приводящих к микрососудистым изменениям, включая микрососуды сетчатки. В последнее время роль микрососудистой системы при сердечной недостаточности привлекает все больше внимания, а оптическая когерентная томография-ангиография является неинвазивным и ценным инструментом для оценки ранних микрососудистых изменений у пациентов с ХСН.

Ключевые слова: сетчатка, оптическая когерентная томография-ангиография, микроциркуляция, хроническая сердечная недостаточность, глазное дно

Для цитирования: Фролов А.М., Дулани Ф.Т., Фролов М.А., Копченова Ю.Г. Микроциркуляция глазного дна при хронической сердечной недостаточности (обзор литературы). Точка зрения. Восток – Запад. 2025;12(1): 45–50.
DOI: <https://doi.org/10.25276/2410-1257-2025-1-45-50>

Автор, ответственный за переписку: Дулани Фаваз Тарек, fawazdulani5@gmail.com

Literature review

Fundus microcirculation in chronic heart failure (literature review)

A.M. Frolov¹, F.T. Dulani^{1, 2}, M.A. Frolov¹, Yu.G. Kopchenova^{1, 2}

¹People's Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russian Federation

²Moscow City Clinical Hospital 52, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

This literature review examines changes in the retinal microvascular bed in chronic heart failure (CHF). In heart failure, vascular endothelial cells become a target for various pathophysiological processes leading to microvascular changes including retinal microvessels. Recently, the role of the microvascular system in heart failure has received increasing attention, and optical coherence tomography angiography is a non-invasive and valuable tool for assessing early microvascular changes in patients with CHF.

Key words: retina, optical coherence tomography-angiography, microcirculation, chronic heart failure, fundus

For quoting: Frolov A.M., Dulani F.T., Frolov M.A., Kopchenova Yu.G. Fundus microcirculation in chronic heart failure (Literature review). Point of view. East – West. 2025;12(1): 45–50. DOI: <https://doi.org/10.25276/2410-1257-2025-1-45-50>

Corresponding author: Dulani Favaz Tarek,
fawazdulani5@gmail.com

АКТУАЛЬНОСТЬ

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) занимают первое место среди причин смертности во всем мире уже более 20 лет [1]. В России смертность от сердечно-сосудистой патологии занимает первое место, в 2022 г. на ее долю приходилось 43,7% от общего чис-

ла умерших [2]. Большую часть составляет хроническая сердечная недостаточность (ХСН), развивающаяся как следствие длительных патологий сердечно-сосудистой системы, таких как гипертоническая болезнь, ишемическая болезнь сердца (ИБС) и др. ХСН, в свою очередь, может приводить к ряду серьезных последствий для организма, в частности, к развитию кардиомегалии, хронической почечной недостаточности, а также поражению сосудов глазного дна [3, 4].

Визуализация сетчатки как инновационный метод диагностики привлекает все большее внимание благо-

даря своей способности выявлять предрасположенность к сердечной недостаточности на ранних стадиях [5]. Исследования D.K. Prasad и соавт. и J.B. Gavin и соавт. показывают, что изменения в сосудистой структуре сетчатки могут быть индикаторами системных заболеваний, включая сердечную недостаточность [5, 6]. Функциональная и морфологическая оценка сосудов сетчатки с помощью современных методов диагностики, таких как фоторегистрация глазного дна и оптическая когерентная томография (ОКТ) с ангиографией (ОКТ-А), позволяют установить корреляцию между микрососудистыми изменениями и состоянием сердечно-сосудистой системы. ОКТ с многослойной визуализацией как наиболее точный метод открывает широкие возможности для анализа состояния сетчатки, т.к. детализированное изображение позволяет специалистам выявлять патологические изменения, которые могут предшествовать клиническим симптомам сердечной недостаточности [5, 7].

Таким образом, диагностика, основанная на визуализации сетчатки с помощью офтальмоскопии, фоторегистрации глазного дна и ОКТ-А, предоставляет собой перспективный инструмент, который может не только улучшить раннюю диагностику ССЗ, но и оптимизировать подходы к профилактике ССЗ, направленные на снижение риска развития серьезных осложнений и улучшение качества жизни пациентов. Это подчеркивает важность междисциплинарного подхода в современном здравоохранении, где офтальмология играет важную роль в общих стратегиях диагностики [8].

ВЗАИМОСВЯЗЬ РЕТИНОПАТИИ И СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

ХСН представляет собой комплекс характерных симптомов (одышка, утомляемость, снижение физической активности, отеки), которые связаны с неадекватной перфузией органов и тканей в покое или при нагрузке и часто с задержкой жидкости в организме. Первопричиной является ухудшение способности сердца к наполнению или опорожнению, обусловленное поврежде-

нием миокарда, а также дисбалансом вазоконстрикторных и вазодилатирующих нейрогуморальных систем [9, 10]. ХСН является конечной точкой пути развития множества болезней, поражающих сердце (ИБС, гипертоническая болезнь и др.) [11].

Несмотря на множество современных исследований, патогенез сердечной недостаточности до конца не изучен [12]. Но основным патогенным фактором выделяют микрососудистую дисфункцию, ведущую роль в которой отводят эндотелиальным клеткам, регулирующим вазодилатацию и целостность стенки сосудов [13, 14]. Полученные данные в работе T. Chaikijurajai и соавт. указывают на то, что метод визуализации сетчатки может стать полезным инструментом для выявления людей, которые находятся в группе риска развития сердечной недостаточности, а также для определения различных типов этого заболевания. Параметры, полученные при фоторегистрации глазного дна, были связаны с субклиническим изменением левого желудочка сердца (ЛЖ) и возникновением сердечной недостаточности [15]. На рисунке 1 изображен патогенез нарушения микроциркуляции глазного дна и потенциальная роль визуализации сетчатки в диагностике и прогнозировании течения сердечной недостаточности.

В последнее время все больше внимания уделяется пониманию роли микроциркуляторного русла в развитии сердечной недостаточности. Однако по-прежнему не хватает неинвазивных и не требующих облучения методов оценки дисфункции микрососудов. Сетчатка, являясь продолжением центральной нервной системы, открывает уникальное окно в микроциркуляторное русло и дает ценную информацию о системном кровообращении [16]. Понимание сложной взаимосвязи между микроциркуляцией сетчатки и сердечной деятельностью может революционизировать диагностику и лечение сердечной недостаточности, открывая новые возможности для раннего вмешательства и персонализированных стратегий лечения. Оценка микроциркуляции глазного дна, особенно с помощью таких методов, как ОКТ-А, является неинвазивным и потенциально ценным инструментом для оценки микрососудистых изменений у пациентов с ХСН [17, 18].

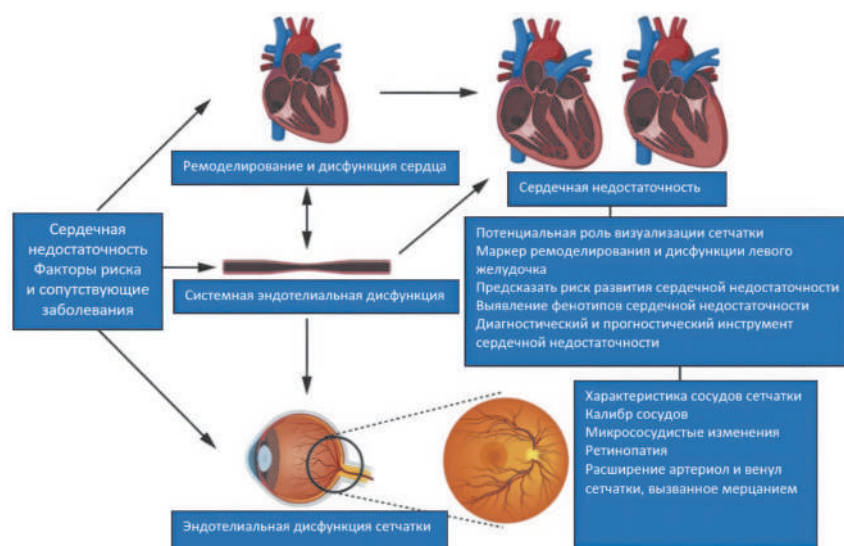


Рис. 1. Патогенез нарушения микроциркуляции глазного дна и потенциальная роль визуализации сетчатки в диагностике и прогнозировании течения сердечной недостаточности

Fig. 1. The pathogenesis of fundus microcirculation disorders and the potential role of retinal imaging in the diagnosis and prognosis of heart failure

Chaikijurajai T, et al. J Am Coll Cardiol HF. 2022;10(11):785-791.

Исследования последних лет [19–24] все чаще подчеркивают значительное патофизиологическое влияние микроциркуляции на органную недостаточность. В работе М.А. Gdowski и соавт. представлен систематический обзор и метаанализ совокупных данных, посвященных связи изолированной коронарной микрососудистой дисфункции (КМД) со смертностью и основными неблагоприятными сердечными событиями. Это исследование посвящено влиянию дисфункции коронарных микрососудов на исходы лечения пациентов. Основное внимание уделялось неблагоприятным сердечным событиям, которые включали такие исходы, как смерть, вызванная сердечно-сосудистой патологией, нефатальный инфаркт миокарда и госпитализация пациента по кардиогенным причинам или выполнение коронарной реваскуляризации. КМД связана с более высоким риском смертности (почти в 4 раза) и более высоким риском серьезных неблагоприятных сердечных событий (в 5 раз), что свидетельствует о значимости микрососудистого русла [19].

Оценка состояния микроциркуляторного русла при ХСН остается ограниченной, в первую очередь из-за недостатка методов, позволяющих визуализировать эти сосуды *in vivo*. В работе Т. Chaikijurajai и соавт. (2022) описаны некоторые признаки и характеристики микроциркуляторного русла сетчатки, связанные с ССЗ и сердечной недостаточностью. На рисунке 2 изображены признаки микрососудистых изменений сетчатки, ассоциированные с сердечной недостаточностью.

Калибры сосудов сетчатки позволяют проводить измерения на основе диаметров артериол и венул сетчатки, включая центральные артериоларные эквиваленты сетчатки (CRAE), центральные веноулярные эквиваленты сетчатки (CRVE) и соотношение артериол и венул. Дополнительные признаки микрососудистых изменений сетчатки включают очаговое или распространенное сужение артериол, артериовенозные сужения, изменения в структуре сосудов сетчатки, геометрии сосудов сетчатки, углов разветвления артериол и вен сетчатки, генерализованного или очагового сужения артериол сетчатки, артериовенозной ретинопатии и динамические изменения дилатации артериол сетчатки (красные) и венул (синие) (рис. 2).

(синие) вызванной мерцанием. Отличительными признаками диабетической или гипертонической ретинопатии являются микроаневризмы сетчатки, кровоизлияния, ватообразные очаги, мягкий и твердый экссудат и неоваскуляризация, которые могут возникать независимо от ранее упомянутых особенностей микрососудов сетчатки [12].

В 2019 г. американскими учеными в рамках популяционного исследования Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) опубликованы результаты исследования глазного дна (фоторегистрация) у пациентов, которые наблюдались в течение 18 лет ($n=10\,692$). Авторы указали на наличие более широкого центрального веноулярного эквивалента сетчатки и более узкого центрального артериоларного эквивалента сетчатки, которые, в свою очередь, после корректировки с учетом возраста, пола и расы достоверно и линейно были связаны с возникновением сердечной недостаточности [20]. Эта связь наводит на мысль о том, что нарушения микроциркуляции могут играть определенную роль в возникновении сердечной недостаточности. В исследовании М.Р. Nägele и соавт. рассматриваются структурные и функциональные характеристики артериол и венул сетчатки у пациентов с застойной сердечной недостаточностью и нарушением функции ЛЖ, оцениваемые с помощью мерцающего свето-индуцированного расширения артериол сетчатки. У пациентов с дилатационной кардиомиопатией по сравнению с ишемической кардиомиопатией нарушения функции расширенных артериол сетчатки были меньше. Не было обнаружено существенных различий в артериовенозном соотношении и дилатации, обусловленной кровотоком [21]. Е. Khalilipur и соавт. наблюдали снижение плотности сосудов парафовеальной области в поверхностном капиллярном сплетении у пациентов с сердечной недостаточностью со сниженной фракцией выброса. Толщина подфовеальной хориоидеи у данных пациентов была значительно ниже, чем в контрольной группе, что указывает на потенциальное структурное изменение сосудистой оболочки [22]. В статье С. Topaloglu и соавт. [23] показаны изменения плотности сосудов сетчатки у пациентов с сердечной недостаточностью. Вы-

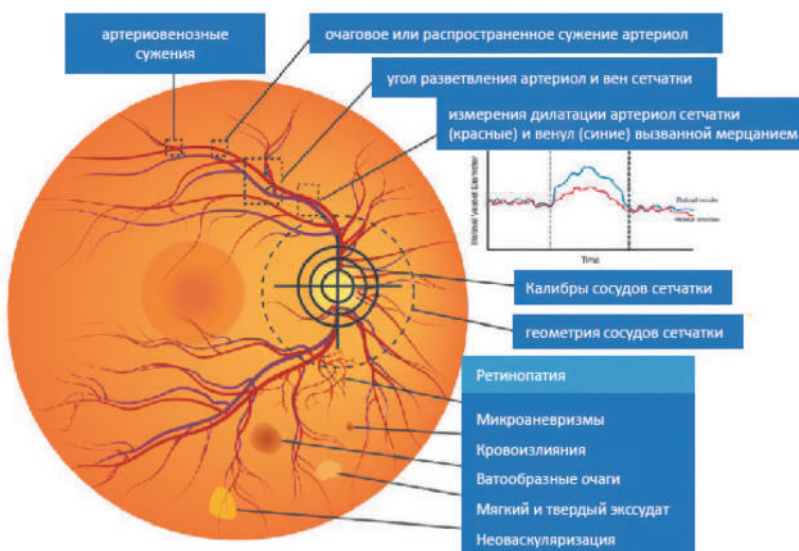


Рис. 2. Признаки микрососудистых изменений сетчатки, ассоциированные с сердечной недостаточностью

Fig. 2. Signs of microvascular changes in the retina associated with heart failure

явлено уменьшение толщины хориоидеи. Среди групп с сердечной недостаточностью отмечено статистически значимое уменьшение плотности глубоких капиллярных сплетений. Кроме того, по плотности глубоких капиллярных сплетений была обнаружена статистически значимая разница между группами с сердечной недостаточностью.

Таким образом, изменения в структуре, функциях сосудов сетчатки, наличие ретинопатии могут быть результатом системного воспаления, эндотелиальной дисфункции и связанной с этим сопутствующей сердечной недостаточности.

МИКРОСОСУДИСТЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СЕТЧАТКИ ПРИ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

Некоторые микрососудистые изменения сетчатки выделяют ведущими в патогенетическом звене сердечной недостаточности [14], в частности, расширение артериол и венул, вызванные мерцанием [23], артериовенозная ретинопатия [39] и неоптимальная геометрия сосудов сетчатки. В работе китайских коллег отмечено, что уменьшение пиковой систолической скорости септально-митрального кольца (c'septal), отражающей ухудшение функции левого предсердия, было связано с меньшим углом разветвления венул сетчатки, а так же за каждую единицу увеличения пиковой скорости кровотока в позднюю диастолу за счет сокращения предсердий, указывающего на ухудшение функции левого предсердия, было связано с уменьшением фракционной размерности венул сетчатки [38].

Структурная и функциональная целостность сетчатки имеет решающее значение для качественного восприятия света и формирования четкого изображения. Сеть капилляров, состоящая из крупных и средних сосудов, расположенных в слое ганглионарных клеток, создает поверхностное капиллярное сплетение. Это сложное образование играет ключевую роль в питании клеток сетчатки, обеспечивая их необходимыми веществами и кислородом. Глубокое капиллярное сплетение, сформированное двумя сосудистыми слоями, присутствующими с каждой стороны внутреннего ядерного слоя, усиливает микрососудистую сеть, еще более углубляя доставку нутриентов [26]. Эти сосуды, несмотря на свою малую величину, обладают исключительной эластичностью и способностью к регенерации, что позволяет им адаптироваться к изменяющимся условиям и требуемой активности. Наружная часть сетчатки в здоровом глазу остается полностью бессосудистой. Это отсутствие сосудов защищает фоточувствительные клетки от возможного повреждения, обеспечивая при этом оптимальные условия для восприятия световых сигналов и трансформации в нервные импульсы [25]. В пределах фoveальной ямки имеется область без кровеносных сосудов сетчатки, известная как фoveолярная аваскулярная зона диаметром примерно 0,5 мм, но показывающая значительное различие в размерах среди здоровых глаз. Геометрический центр фoveолярной аваскулярной зоны считается центром фoveа [27]. Ветви сосудов, принадлежащих к капиллярному сплетению, образуют регулярные сети вокруг сосудистой зоны ямки, формируя уникальное анатомическое и функциональное единство. Эта структура

играет ключевую роль в визуальном восприятии, обеспечивая высокую четкость и детализированность изображения, что особенно важно для различения мелких деталей. Поскольку сосуды глазного дна примерно такого же размера, как и коронарная микроциркуляция, и имеют те же физиологические и эмбриологические характеристики, они могут служить маркерами для процессов, происходящих при сердечных заболеваниях [28, 31].

В своих исследованиях многие авторы отмечают связь между сосудами глаза и сердца [28, 32]. Также в настоящее время выделяют несколько микрососудистых признаков, связанных с сердечной недостаточностью:

1. Статические измерения сосудистого калибра сетчатки (центральный артериоларный эквивалент сетчатки, центральный венозный эквивалент сетчатки и артериоларно-венозное соотношение). В 1974 г. J.C. Patl и G.F.S. Spears предложили единый алгоритм количественной оценки сосудов сетчатки. Авторами было введено понятие «центральный артериоларный эквивалент сетчатки» (Central retinal arteriolar equivalent, CRAE) и разработана формула для его вычисления [33]. Также уже модифицированные формулы Knudston и соавт. использовались в нескольких крупных популяционных исследованиях, продемонстрировав высокую точность. Вычисления имеют начало с артериол 4–5-го порядка, на фотографиях измеряют ширину двух ветвей, далее по формуле высчитывают ширину материнского сосуда, который, в свою очередь, являлся ветвью другого сосуда. Попарные вычисления повторяют, пока не будет получено итоговое значение эквивалента, являющегося суммарной оценкой артериоларного русла [34]. В 2006 г. N. Patton и соавт. предложили модифицированную формулу для расчета коэффициента бифуркации артериол с учетом индекса асимметрии [35]. Исследования показывают, что сосудистый калибр сетчатки имеет более сильную корреляцию с ИБС у женщин, чем у мужчин, что, возможно, отражает большой вклад микрососудистых заболеваний в развитие ИБС у женщин [36]. В исследовании ARIC меньшее артериовенозное соотношение было связано с повышением риска инцидентной ИБС и острого инфаркта миокарда у женщин, но не у мужчин. Также больший веноулярный калибр сетчатки был связан с 3-кратным повышенным риском инцидентной ИБС, независимо от факторов сердечно-сосудистого риска [36]. Меньший артериоларный калибр сетчатки так же был связан с 2-кратным риском инцидентной ИБС, при сравнении самого большого с наименьшими квартилями артериоларного калибра.

2. Сосудистая геометрия сетчатки. Она включает кризину сосудов сетчатки, углы ветвления, диаметры сосудов и другие геометрические индексы [35]. В исследовании Lihua Huang и соавт. [36] показана связь между неблагоприятными изменениями в сердечной функции, которые могут быть отражены в неоптимальной геометрии сосудов сетчатки.

3. Веноулярные углы ветвления сетчатки. В исследовании Lihua Huang и соавт. [38] средний угол венозного ветвления 82,82° был у исследуемого с лучшей функцией ЛЖ, напротив средний угол венозного ветвления 71,66°, показал участник с худшей функцией ЛЖ.

4. Артериовенозная ретинопатия. Микрососудистая дисфункция сетчатки проявляется изначально фазой

вазоконстрикции [37], происходит спазм сосудов и сужение артериол сетчатки, тем самым уменьшая соотношение артерий к вене; склеротическая фаза проявляется после постоянного увеличения артериального давления, вызывает определенные изменения в стенке сосуда: утолщение интимы слоя, гиперплазию среднего слоя и гиалиновую дегенерацию артериолярной стенки. Экссудативная фаза характеризуется нарушением гематоэнцефалического барьера, пропитыванием плазмой крови стенки сосуда, нарушающей механизмы ауторегуляции. На этом этапе возникают кровоизлияние сетчатки (пламенная форма и точечные пятна), образование твердых экссудатов, некроз клеток гладкой мускулатуры и ишемия сетчатки (вазообразные очаги) [39, 40].

5. Динамические измерения, вызванные мерцанием (артериол и венул сетчатки с использованием стандартизированного протокола мерцания) [37].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микрососудистая дисфункция сетчатки играет важную роль в патогенезе ХСН, т.к. именно через повреждение микроциркуляторного русла проявляются системные сосудистые изменения, возникающие при данной патологии. Изменения в микроциркуляции сетчатки могут служить маркерами не только сердечно-сосудистых заболеваний, но и других органов, нарушая их функцию. Клинические исследования многих авторов разных стран показывают, что у пациентов с ХСН наблюдаются характерные изменения в структурной организации сетчатки, включая изменение кривизны сосудов сетчатки, углов ветвления, диаметра сосудов и другие геометрические индексы. Эти патоморфологические изменения могут предшествовать или совпадать с клиническими проявлениями сердечной недостаточности, указывая на системное воспаление и ухудшение кровоснабжения. Важно отметить, что раннее обнаружение микрососудистых нарушений в сетчатке может способствовать своевременной диагностике и лечению ХСН. Это открывает новые горизонты для применения офтальмологических методов исследования в кардиологии, позволяя глубже понять механизмы взаимодействия сердечно-сосудистой системы и сетчатки. Таким образом, изучение микрососудистых изменений в сетчатке предоставляет ценную информацию о ХСН и ее патогенезе.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Всемирная организация здравоохранения. 49-е изд. (с поправками по состоянию на 31 мая 2019 г.). [Женева]: ВОЗ, 2020, VI, 261 с. [Vsemirnaya organizatsiya zdavookhraneniya. 49-e izd. (s popravkami po sostoyaniyu na 31 maya 2019 g.). [Zheneva]: VOZ, 2020, VI, 261 s. (In Russ.)]
2. Российский статистический ежегодник. 2023: Стат. сб./Росстат. М., 2023. [Rossiiskii statisticheskiy ezhegodnik. 2023: Stat. sb./Rosstat. Moskva, 2023. (In Russ.)]
3. Калюжин В.В., Тепляков А.Т., Черногорюк Г.Э., и др. Хроническая сердечная недостаточность: синдром или заболевание? Бюллетень сибирской медицины. 2020;19(1): 134–139. [Kalyuzhin VV, Teplyakov AT, Chernogoryuk GE, et al. Chronic heart failure: syndrome or disease? Bulletin of Siberian Medicine. 2020;19(1): 134–139 (In Russ.)] doi: 10.20538/1682-0363-2020-1-134-139
4. Трухан Д.И., Лебедев О.И. Изменение органа зрения при заболеваниях внутренних органов. М.: Издательский дом «Практическая медицина», 2014. [Trukhan DI, Lebedev OI. Izmenenie organa zreniya pri zabolevaniyakh vnutrennikh organov. Moskva: Izdatel'skii Dom «Prakticheskaya Meditsina», 2014. (In Russ.)]
5. Prasad DK, Manjunath MP, Kulkarni MS, et al. A Multi-Stage Approach for Cardiovascular Risk Assessment from Retinal Images Using an Amalgamation of Deep Learning and Computer Vision Techniques. Diagnostics (Basel). 2024;14(9): 928. doi: 10.3390/diagnostics14090928
6. Gavin JB, Maxwell L, Edgar SG. Microvascular involvement in cardiac pathology. Journal of molecular and cellular cardiology. 1998;30(12): 2531–2540.
7. Monteiro-Henriques I, Rocha-Sousa A, Barbosa-Breda J. Optical coherence tomography angiography changes in cardiovascular systemic diseases and risk factors: A Review. Acta Ophthalmol. 2022;100(1): e1–e15. doi: 10.1111/aos.14851
8. Арутюнов Г.П., Козиолова Н.А. Междисциплинарный подход к лечению коморбидного пациента с сердечной недостаточностью: взгляд кардиолога и терапевта. Пермь, 2023. [Arutyunov GP, Kozioleva NA. Mezhdistsiplinarnyi podkhod k lecheniyu komorbidnogo patsienta s serdechnoi nedostatochnost'yu: vzglyad kardiologa i terapevta Predsedatel'. Perm', 2023. (In Russ.)]
9. McDonagh T, Metra M. 2021 Рекомендации ESC по диагностике и лечению острой и хронической сердечной недостаточности. Российский кардиологический журнал. 2023;28(1): 5168. [McDonagh T, Metra M. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. Russian Journal of Cardiology. 2023;28(1): 5168. (In Russ.)] doi: 10.15829/1560-4071-2023-5168
10. Галевич А.С., Терещенко С.Н., Ускач Т.М. и др. Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации 2024. Российский кардиологический журнал. 2024;29(11): 6162. [Galyavich AS, Tereshchenko SN, Uskach TM., et al. 2024 Clinical practice guidelines for Chronic heart failure. Russian Journal of Cardiology. 2024;29(11): 6162. (In Russ.)]
11. Поляков Д.С., Фомин И.В., Беленков Ю.Н., др. Хроническая сердечная недостаточность в Российской Федерации: что изменилось за 20 лет наблюдения? Результаты исследования ЭПОХА-ХСН. Кардиология. 2021;61(4): 4–14. [Polyakov DS, Fomin IV, Belenkov YuN, et al. Chronic heart failure in the Russian Federation: what has changed over 20 years of follow-up? Results of the EPOCH-CHF study. Kardiologiya. 2021;61(4): 4–14. (In Russ.)] doi: 10.18087/cardio.2021.4.n1628
12. Triposkiadis F, Xanthopoulos A, Parissis J, Butler J, Farmakis D. Pathogenesis of chronic heart failure: cardiovascular aging, risk factors, comorbidities, and disease modifiers. Heart Fail Rev. 2022;27(1): 337–344. doi: 10.1007/s10741-020-09987-z
13. De Luca M, Crisci G, Armentaro G, et al. Endothelial Dysfunction and Heart Failure with Preserved Ejection Fraction-An Updated Review of the Literature. Life (Basel). 2023;14(1): 30. doi: 10.3390/life14010030
14. Marti CN, Gheorghiadu M, Kalogeropoulos AP, Georgiopolou VV, Quyyumi AA, Butler J. Endothelial dysfunction, arterial stiffness, and heart failure. J Am Coll Cardiol. 2012;60(16): 1455–1469. doi: 10.1016/j.jacc.2011.11.082
15. Chaikijurajai T, Ehlers JP, Tang WHW. Retinal Microvasculature: A Potential Window Into Heart Failure Prevention. JACC Heart Fail. 2022;10(11): 785–791. doi: 10.1016/j.jchf.2022.07.004
16. Singh RB, Saini C, Shergill S, Agarwal A. Window to the circulatory system: Ocular manifestations of cardiovascular diseases. Eur J Ophthalmol. 2020;30(6): 1207–1219. doi: 10.1177/1120672120914232
17. Spaide RF, Klancnik JM Jr, Cooney MJ. Retinal vascular layers imaged by fluorescein angiography and optical coherence tomography angiography. JAMA Ophthalmol. 2015;133(1): 45–50. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2014.3616
18. Kromer R, Tigges E, Rashed N, Pein I, Klemm M, Blankenberg S. Association between optical coherence tomography based retinal microvasculature characteristics and myocardial infarction in young men. Sci Rep. 2018;8(1): 5615. doi: 10.1038/s41598-018-24083-x
19. Gdowski MA, Murthy VL, Doering M, Monroy-Gonzalez AG, Slart R, Brown DL. Association of Isolated Coronary Microvascular Dysfunction With Mortality and Major Adverse Cardiac Events:

- A Systematic Review and Meta-Analysis of Aggregate Data. J Am Heart Assoc. 2020;9(9): e014954. doi: 10.1161/JAHA.119.014954
20. Chandra A, Seidelmann SB, Claggett BL, et al. The association of retinal vessel calibres with heart failure and long-term alterations in cardiac structure and function: the Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) Study. Eur J Heart Fail. 2019;21(10): 1207–1215. doi: 10.1002/ehfj.1564
 21. Nägele MP, Barthelmes J, Ludovici V, et al. Retinal microvascular dysfunction in heart failure. Eur Heart J. 2018;39(1): 47–56. doi: 10.1093/eurheartj/ehx565
 22. Khalilipour E, Mahdizad Z, Molazadeh N, et al. Microvascular and structural analysis of the retina and choroid in heart failure patients with reduced ejection fraction. Sci Rep. 2023;13(1): 5467. doi: 10.1038/s41598-023-32751-w
 23. Topaloglu C, Bekmez S. Retinal vascular density change in patients with heart failure. Photodiagnosis Photodyn Ther. 2023;42: 103621. doi: 10.1016/j.pdpdt.2023.103621
 24. Абдурахманов З.М., Умаров Б.Я., Абдурахманов М.М. Современные биомаркеры эндотелиальной дисфункции при сердечно-сосудистых заболеваниях. Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии 2021;17(4): 612–618. [Abdurakhmanov Z, Umarov B, Abdurakhmanov M. Novel Biomarkers of Endothelial Dysfunction in Cardiovascular Diseases. Rational Pharmacotherapy in Cardiology. 2021;17: 612–618. (In Russ.)] doi: 10.20996/1819-6446-2021-08-08
 25. Ezra-Elia R, Ross M, Avni-Magen N, Berkowitz A, Ofri R. The retina of the collared peccary (Pecari tajacu): structure and function. Vet Ophthalmol. 2018;21(6): 577–585. doi: 10.1111/vop.12548
 26. Chui TY, Zhong Z, Song H, Burns SA. Foveal avascular zone and its relationship to foveal pit shape. Optom Vis Sci. 2012;89(5): 602–610. doi: 10.1097/OPX.0b013e3182504227
 27. Carpineto P, Mastropasqua R, Marchini G, Toto L, Di Nicola M, Di Antonio L. Reproducibility and repeatability of foveal avascular zone measurements in healthy subjects by optical coherence tomography angiography. Br J Ophthalmol. 2016;100(5): 671–676. doi: 10.1136/bjophthalmol-2015-307330
 28. McClintic BR, McClintic JI, Bisognano JD, Block RC. The relationship between retinal microvascular abnormalities and coronary heart disease: a review. Am J Med. 2010;123(4): 374.e1–374.e3747. doi: 10.1016/j.amjmed.2009.05.030
 29. Patton N, Aslam T, Macgillivray T, Pattie A, Dearly J, Dhillon B. Retinal vascular image analysis as a potential screening tool for cerebrovascular disease: a rationale based on homology between cerebral and retinal microvasculatures. J Anat. 2005;206(4): 319–348. doi: 10.1111/j.1469-7580.2005.00395.x
 30. Flammer J, Konieczka K, Bruno RM, Virdis A, Flammer AJ, Taddei S. The eye and the heart. Eur Heart J. 2013;34(17): 1270–1278. doi: 10.1093/eurheartj/ehz023
 31. Sideri AM, Kanakis M, Katsimprisi A, et al. Correlation Between Coronary and Retinal Microangiopathy in Patients With STEMI. Transl Vis Sci Technol. 2023;12(5): 8. doi: 10.1167/tvst.12.5.8
 32. Kromer R, Tigges E, Rashed N, Pein I, Klemm M, Blankenberg S. Association between optical coherence tomography based retinal microvasculature characteristics and myocardial infarction in young men. Sci Rep. 2018;8(1): 5615. doi: 10.1038/s41598-018-24083-x
 33. Parr JC, Spears GE. General caliber of the retinal arteries expressed as the equivalent width of the central retinal artery. Am J Ophthalmol. 1974;77(4): 472–477. doi: 10.1016/0002-9394(74)90457-7
 34. Knudtson MD, Klein BE, Klein R, et al. Variation associated with measurement of retinal vessel diameters at different points in the pulse cycle. Br J Ophthalmol. 2004;88(1): 57–61. doi: 10.1136/bjo.88.1.57
 35. Patton N, Aslam T, Macgillivray T, Dhillon B, Constable I. Asymmetry of retinal arteriolar branch widths at junctions affects ability of formulae to predict trunk arteriolar widths. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2006;47(4): 1329–1333. doi: 10.1167/iovs.05-1248
 36. Ikram MK, Ong YT, Cheung CY, Wong TY. Retinal vascular caliber measurements: clinical significance, current knowledge and future perspectives. Ophthalmologica. 2013;229(3): 125–136. doi: 10.1159/000342158

37. Chaikijurajai T, Ehlers JP, Tang WHW. Retinal Microvasculature: A Potential Window Into Heart Failure Prevention. JACC Heart Fail. 2022;10(11): 785–791. doi: 10.1016/j.jchf.2022.07.004
38. Huang L, Chen WQ, Aris IM, et al. Associations between cardiac function and retinal microvascular geometry among Chinese adults. Sci Rep. 2020;10(1): 14797. doi: 10.1038/s41598-020-71385-0
39. Rizzoni D, Agabiti-Rosei C, De Ciuceis C. State of the Art Review: Vascular Remodeling in Hypertension. Am J Hypertens. 2023;36(1): 1–13. doi: 10.1093/ajh/hpac093
40. Rizzoni D, Agabiti-Rosei C, Boari GEM, Muiesan ML, De Ciuceis C. Microcirculation in Hypertension: A Therapeutic Target to Prevent Cardiovascular Disease? J Clin Med. 2023;12(15): 4892. doi: 10.3390/jcm12154892

Информация об авторах

Фролов Александр Михайлович – к.м.н., доцент кафедры глазных болезней ФГАОУ ВО РУДН, Москва, <https://orcid.org/0000-0003-0988-1361>
Дулани Фаваз Тарек – аспирант кафедры глазных болезней ФГАОУ ВО РУДН, врач-офтальмолог ГБУЗ «ГКБ № 52» ДЗМ, Москва, <https://orcid.org/0000-0001-9171-6095>

Фролов Михаил Александрович – д.м.н., профессор, зав. кафедрой глазных болезней ФГАОУ ВО РУДН, Москва, <https://orcid.org/0000-0002-9833-6236>

Копченова Юлия Геннадьевна – ассистент кафедры глазных болезней ФГАОУ ВО РУДН, Москва; зав. офтальмологическим отделением ГБУЗ «ГКБ № 52» ДЗМ, Москва, <https://orcid.org/0000-0003-3940-0178>

Information about the authors

Aleksandr M. Frolov – PhD, Associate Professor of the Department of Eye Diseases People's Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, <https://orcid.org/0000-0003-0988-1361>

Dulani Favaz Tarek – postgraduate student of the Department of Eye Diseases People's Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow; Ophthalmologist Moscow City Clinical Hospital 52, Moscow, <https://orcid.org/0000-0001-9171-6095>

Mikhail A. Frolov – Med. Sc. D., Professor, Head of the Department of Eye Diseases People's Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, <https://orcid.org/0000-0002-9833-6236>

Yuliya G. Kopchenova – Assistant Professor of the Department of Eye Diseases People's Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow; Head of the Department of Ophthalmology Moscow City Clinical Hospital 52, Moscow, <https://orcid.org/0000-0003-3940-0178>

Вклад авторов:

Фролов А.М. – концепция и дизайн исследования, редактирование.
Дулани Ф.Т. – концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование.

Фролов М.А. – концепция и дизайн исследования.
Копченова Ю.Г. – концепция и дизайн исследования.

Contribution of the authors:

Frolov A.M. – concept and design of research, editing.
Dulani F.T. – research concept and design, text writing, editing.
Frolov M.A. – research concept and design.
Kopchenova Yu.G. – concept and design of the study.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторе.

Funding: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial, or non-profit sector.

Конфликт интересов: Отсутствует.

Conflicts of interest: None.

Поступила: 23.01.2025

Переработана: 05.02.2025

Принята к печати: 12.02.2025

Originally received: 23.01.2025

Final revision: 05.02.2025

Accepted: 12.02.2025