

А. А. ГАРАНИН, В. С. РОГОВА, П. С. ИВАНЧИНА,
Е. О. ТОЛКАЧЕВА

Веб-фотоплетизмография: возможности и перспективы

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Самара, Россия
443099, Россия, г. Самара, Чапаевская ул., д. 89
E-mail: sameagle@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 12.07.23 г.; принята к печати 15.09.23 г.

Резюме

Настоящий литературный обзор посвящен возможностям применения в клинической практике новой модификации фотоплетизмографии – ее веб-версии. Использование современных инновационных методик в форме фото/видеофиксации кожного покрова человека позволяет проводить бесконтактную и удаленную оценку основных физиологических показателей состояния его здоровья. Особое значение данный подход приобретает в условиях дефицита медицинских работников, территориальной разобщенности врача и пациента, ограничениях в посещении лечебных учреждений при возникновении эпидемий/пандемий инфекционных заболеваний и способствует развитию и внедрению телемедицинских технологий в повседневную работу медицинских специалистов. В статье рассмотрены возможности применения веб-фотоплетизмографии для оценки микроциркуляции (веб-капилляроскопия), сердечного ритма и других показателей (частота дыхания, частота пульса, сатурация, температура тела и т. д.). Веб-фотоплетизмография является чувствительным, простым и эффективным методом регистрации жизненно важных функций организма. Уже доказаны его эффективность для использования в качестве перспективного скринингового метода выявления нарушений ритма и возможность измерения артериального давления. Описано потенциальное применение не только видео-, но и фотоматериалов, например, для выявления сердечно-сосудистых заболеваний. Не менее перспективной является возможность применения метода в совокупности с теплотрией. Учитывая широкое распространение и доступность различных девайсов, необходимо дальнейшее изучение возможностей применения веб-камер и мобильных устройств в медицинской практике. Особый интерес представляет разработка и внедрение в рутинную практику медицинских изделий, позволяющих проводить удаленную неинвазивную раннюю диагностику хронических неинфекционных заболеваний.

Ключевые слова: веб-фотоплетизмография, веб-капиллярография, визуализирующая фотоплетизмография, анализ видеозображений лица, термография

Для цитирования: Гаранин А. А., Рогова В. С., Иванчина П. С., Толкачева Е. О. Веб-фотоплетизмография: возможности и перспективы. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2023;22(4):11–16. Doi: 10.24884/1682-6655-2023-22-4-11-16.

A. A. GARANIN, V. S. ROGOVA, P. S. IVANCHINA,
E. O. TOLKACHEVA

Web photoplethysmography: opportunities and prospects

Samara State Medical University, Samara, Russia
89, Chapaevskaya str., Samara, Russia, 443099
E-mail: sameagle@yandex.ru

Received 12.07.23; accepted 15.09.23

Summary

Abstract. This literature review is devoted to the possibilities of using in clinical practice a new modification of photoplethysmography – its web version. The use of modern innovative techniques in the form of photo/video fixation of the human skin allows for contactless and remote assessment of the main physiological indicators of human health. This approach is of particular importance in conditions of shortage of medical workers, territorial separation of doctors and patients, restrictions in visiting medical institutions in the event of epidemics/pandemics of infectious diseases and it contributes to the development and implementation of telemedicine technologies in the daily work of medical specialists. The article discusses the possibilities of using web photoplethysmography to assess microcirculation (web capillaroscopy), heart rate and other indicators (respiratory rate, pulse rate, saturation, body temperature, etc.). Web photoplethysmography is a sensitive, simple and effective method of registering vital body functions. Its effectiveness as a possible screening method for detecting rhythm disturbances and its prospects in using blood pressure measurement has already been proven. The possibility of using not only video, but also photographic materials, for example, for the detection of cardiovascular diseases, is also described. No less promising is the possibility of using the method in conjunction with thermometry. The importance of studying aspects of web photoplethysmography is seen in the need to activate the processes of import substitution and technological sovereignty, as one of the main paradigms of our country's development. It is obvious that the development of contactless research methods is one of

the priorities in modern healthcare. Given the widespread availability of various devices, it is necessary to further explore the possibilities of using webcams and mobile devices in medical practice. The development and introduction into routine practice of medical devices that allow remote non-invasive early diagnosis of chronic non-communicable diseases is of special interest.

Keywords: *web photoplethysmography, web capillarography, visualizing photoplethysmography, analysis of facial video images, thermography*

For citation: Garanin A. A., Rogova V. S., Ivanchina P. S., Tolkacheva E. O. Web photoplethysmography: opportunities and prospects. Regional hemodynamics and microcirculation. 2023;22(4):11–16. Doi: 10.24884/1682-6655-2023-22-4-11-16.

Введение

В настоящее время в нашей стране реализуется «Стратегия развития медицинской науки в Российской Федерации», в рамках которой выполняется ряд федеральных проектов, в число которых входит проект «Развитие сети национальных исследовательских центров и внедрение инновационных технологий». Настоящий проект направлен на разработку отечественных инновационных методов исследования и их внедрение в практическое здравоохранение для увеличения качества и доступности медицинской помощи, в том числе высокотехнологичной, обеспечивающей сохранение и повышение здоровья и качества жизни населения. Данная парадигма отвечает целям и задачам национального проекта «Здравоохранение» и концепции стратегии импортозамещения, импортоопережения и технологического суверенитета как основного аспекта безопасности нашей страны.

С начала XXI в. функциональная диагностика переживает ренессанс, преимущественно за счет значительных прорывов в области микроэлектроники и компьютерных технологий. Во всем мире в последние годы предпочтение отдается простым и бесконтактным методам исследования жизненно важных функций организма человека, позволяющим проводить регулярные или непрерывные наблюдения за состоянием здоровья пациентов. Большая часть таких методов основана на последних достижениях биофотоники. Например, фотоплетизмография (ФПГ), лазерная доплеровская флоуметрия, термография высокого разрешения и многие другие [1, 2].

Одно из самых интересных и перспективных направлений в развитии диагностических методов исследования – это возможность анализа фото- и видеоматериалов, полученных с помощью стандартной камеры смартфона или ноутбука [3]. Данные девайсы с каждым годом получают все более широкое распространение среди всех слоев населения, а их технологические характеристики улучшаются с каждой новой моделью, в том числе – возможности веб-камер, встроенных в подобные устройства. Высокое качество фотографий и видеозаписей, выполненных с помощью личных мобильных устройств, делает их доступными для оценки различных функций организма.

Поиск информации проводился в электронных библиографических базах биомедицинских исследований PubMed, РИНЦ, КиберЛеника. Было проанализировано 53 литературных источника за период 2013–2023 гг. Поиск осуществлялся по следующим ключевым словам: веб-капиллярография, веб-фотоплетизмография, визуализирующая фотоплетизмография, анализ видеозображений лица, pulse wave extraction, термография. Отбирались сведения из

печатных работ, соответствующих критериям оригинальных исследований, а именно рандомизированные клинические исследования и проспективные наблюдательные исследования, посвященные искомому методу. По результатам поиска и анализа литературных источников, 32 научные работы были отобраны как соответствующие критериям поиска и включены в настоящий литературный обзор.

История развития и становление метода фотоплетизмографии

ФПГ – это оптический метод изучения плотности ткани и определения объема крови в микрососудистом русле. Основа веб-капилляроскопии и веб-ФПГ – измерение разности контрастности пикселей при анализе видеозаписи кожного покрова. До развития бесконтактной ФПГ для проведения исследования применялись источники красного и инфракрасного излучения. В отличие от зеленого и синего диапазонов они глубже проникали в ткань и являлись более информативными. Однако при дистанционной ФПГ наибольшее отношение сигнал/шум обеспечивает источник в зеленом спектре. Это объясняется тем, что оксигемоглобин и дезоксигемоглобин более интенсивно поглощают излучение зеленой области, чем любой другой. В результате при возрастании объема крови в сосуде отраженная часть света значительно уменьшается, что приводит к формированию большей амплитуды пульсаций, получаемых при анализе сигнала в зеленом спектре, чем в синем или красном. Кроме того, использование синего диапазона приводит к образованию большого количества шумов, качественно снижающих достоверность получаемых результатов [4].

Основа для возникновения данного метода была заложена еще в 1938 г., когда появилось первое описание применения «фотоэлектрической плетизмографии» для измерения кровоснабжения участка ткани. Используя красные и инфракрасный спектры, Hertzman A. B., автор метода, смог зарегистрировать пульсации отраженного света, соответствующие пульсациям крови в микроциркуляторном русле [5].

Первые упоминания об использовании ФПГ для анализа видеоматериалов появились в 2010 г. Тогда с помощью данного метода удалось провести измерение частоты сердечных сокращений (ЧСС). Авторы использовали сравнительно новый на тот момент способ устранения артефактов или «шума» физиологического сигнала – слепое разделение источников с помощью независимого компонентного анализа. Подобный подход позволил значительно уменьшить влияние движения и особенностей освещения на конечный результат [6]. Дальнейшие исследования расширили список показателей, получаемых при ана-

лизе записей с веб-камеры. Появилась возможность измерения частоты дыхательных движений и уровня сатурации, проведения оценки микроциркуляции в коже и анализа сердечного ритма [7].

Изначально для визуализирующей ФПГ использовали специальные монохромные камеры с внешней зеленой подсветкой или применяли светодиодную кольцевую лампу, что обеспечивало высокое качество освещения и снижение влияния на полученные результаты внешних факторов. Однако подобная аппаратура имеет высокую стоимость и определенную сложность в использовании. Для решения данной проблемы проводились исследования возможности проведения анализа видеоматериалов, снятых с помощью стандартной веб-камеры, использующейся в смартфонах и ноутбуках. Широкое распространение подобных гаджетов среди почти всех слоев населения дает предпосылки для будущего использования данного метода в качестве скринингового [8, 9]. Основная сложность его применения – артефакты или «шумы», возникающие при проведении анализа видеоматериалов. Особенности освещения, тени и микродвижения являются важными факторами, снижающими достоверность результатов при обычных способах анализа. Один из способов решения данной проблемы – применение вейвлет-анализа вместо использующегося ранее классического преобразования Фурье [10]. Любые объекты живой природы отличаются сложным и нерегулярным поведением, их характеристики постоянно и хаотично меняются во времени, что значительно усложняет возможности их изучения. Вейвлет-анализ позволяет нивелировать данное влияние при обработке полученных сигналов (в нашем случае – записи камеры) за счет использования в качестве базиса для разложения сигнала функции, локализованной по времени и частоте. Таким образом, время и частота воспринимаются как независимые переменные, что позволяет достоверно оценивать характеристики живых объектов, постоянно меняющиеся во времени [11].

Веб-капилляроскопия

Для полного понимания природы регистрируемых с помощью оценки видеоматериалов показателей необходимо четко понимать, что собой представляет изучаемая область. Так как чаще всего при применении бесконтактного анализа используются волны в диапазоне зеленого цвета, то глубина проникновения сигнала ниже, чем при контактных методах. При таком подходе мы можем визуализировать и исследовать часть микроциркуляторного русла, залегающего на глубине до 120 мкм от поверхности кожи. Таким образом, полноценной оценке подвергаются капилляры переходного отдела кровеносного русла, которые обеспечивают переход артериол в вены. В данных сосудах реализуются процессы фильтрации и реабсорбции, переход артериальной системы в венозную, что делает их своеобразным «полюсом» сердца в большом круге кровообращения. При этом кровоток в исследуемых областях носит колебательный характер, обусловленный влиянием различных механизмов регуляции гемодинамики на мышечный

элемент микроциркуляторного русла, – в большей степени прекапиллярные артериолы. Сами капилляры мало влияют на гемодинамику кровотока, так как представляют собой монослой эндотелиальных клеток, неспособных к самостоятельному сокращению.

Скорость капиллярного кровотока – важный, но сложный для корректной оценки показатель состояния сердечно-сосудистой системы. Движения эритроцитов в сосуде накладываются на постоянные хаотичные изменения кожного покрова, что вызывает значительные помехи, ограничивающие проведение измерения. Решение данной проблемы предоставили в 2019 г. И. П. Гуров и др., предложив использовать метод «опорного кадра» [12]. Для проведения анализа каждого изображения используется набор определенных кадров, названных «опорными», относительно которых проводится оценка всех остальных кадров. Таким образом, мы можем компенсировать оптические шумы, возникающие из-за взаимного смещения изображений, и провести их выравнивание для дальнейшего анализа. Чаще всего для изучения использовалась съемка акральных зон (кисти рук, реже – стопы) и кожи лба [13].

Большой интерес представляет тот факт, что регуляция гемодинамики в данных областях осуществляется различным влиянием симпатической и парасимпатической систем. При проведении дыхательного теста для оценки влияния симпатической нервной системы было обнаружено [14], что амплитуда колебаний кожи лба, вызванных кровотоком, возрастала только на частоте 0,1 Гц, тогда как в коже пальца данное явление наблюдалось также в диапазоне 0,04 Гц. При совершении глубокого быстрого вдоха для оценки вазомоторного рефлекса, в микроциркуляторном русле пальца происходило снижение кровотока на 30–40 %, тогда как на лице никаких изменений выявлено не было. Также было показано, что парасимпатическая система имеет влияние на гемодинамику только в коже лба. При проведении пробы с 30-секундной задержкой дыхания в микроциркуляторном русле кожи пальца наблюдалась вазоконстрикторная реакция, что привело к снижению кровотока на 60 %. В области лба подобной реакции выявлено не было, более того, в отдельных случаях регистрировалась незначительная вазодилатация и прирост кровотока на 10–15 % и на 15–20 с. Полученные результаты демонстрируют, что влияние симпатической нервной системы гораздо выше в акральных зонах, чем в коже лицевой части головы. Можно сделать вывод о том, что исследование кровотока кожи пальца и лба позволяет комплексно оценить функцию различных механизмов регуляции кровообращения.

Еще один важный момент – система кровоснабжения. В целом кожа головы получает питание из бассейна наружной сонной артерии. Однако центральная область лба кровоснабжается от внутренней сонной артерии. Существуют также отдельные исследования, результаты которых доказывают, что перфузия правой и левой области лба существенно отличается при поражении разных половин головного мозга [15]. Таким образом, исследование видеоматериалов кожи лба может быть перспективным методом в изучении

церебрального кровотока и функционирования бассейна внутренних сонных артерий, особенно при использовании технологий машинного обучения.

Оценка сердечного ритма

В 2018 г. Bryan P. Yan et al. провели исследование по оценке эффективности и достоверности нового метода выявления фибрилляции предсердий с помощью веб-камеры смартфона и приложения «Cardiio Rhythm». Проводились сравнения результатов, полученных при видеозаписи пальца, лица и проведении стандартной 12-канальной ЭКГ. Каждая запись длилась 20 с. Результаты исследования показали высокую достоверность измерений, сделанных с помощью камеры смартфона. Чувствительность приложения «Cardiio Rhythm» по сравнению с ЭКГ составила 87–98 %, а специфичность 91–98 %. Отрицательные прогностические значения составили 97 %, положительные – 92 %. При сравнении эффективности анализа видеоматериалов было установлено, что количество ложноположительных результатов при анализе записи лица было достоверно ниже (4,2 %), чем при пальцевой ФПГ. Минусом данного метода является снижение качества проводимого исследования в домашних условиях (ручная съемка, недостаточное освещение, множество движений, приводящих к возрастанию «шумов»). Кроме того, некоторые иные нарушения ритма, такие как экстрасистолия или наличие эктопических очагов, плохо дифференцируются данным приложением, что и приводило в большинстве случаев к возникновению ложноположительных результатов [16, 17]. Продолжив изучение возможностей веб-ФПГ в выявлении нарушений ритма, ученые установили, что данный метод позволяет проводить анализ записей лица не только одного человека, но и целой группы людей. В результате проведенного исследования при сравнении со стандартной ЭКГ чувствительность метода составила 93,8 %, а специфичность – 98,1 %. Данный подход требует более длительной записи и максимальной неподвижности исследуемых пациентов, а также дополнительного проведения ЭКГ при выявлении подозрения на фибрилляцию предсердий в качестве подтверждающего метода. Также проводилось изучение возможности применения веб-ФПГ при проведении нейроэлектростимуляции [18]. Необходимы дальнейшие исследования по применению данного метода в домашних условиях и клинической практике. Однако полученные результаты позволяют сделать вывод, что простой и бесконтактный метод анализа сердечного ритма, интегрированный в обычный смартфон, может в дальнейшем стать высокоэффективным скрининговым методом для раннего выявления фибрилляции предсердий среди широких слоев населения [19]. Данная возможность в 2021 г. была подтверждена Международным обществом холтеровской и неинвазивной электрокардиологии, Обществом сердечного ритма, Европейской ассоциацией сердечного ритма и Азиатско-Тихоокеанским обществом сердечного ритма в статье, посвященной комплексной оценке современных возможностей использования mHealth в лечении аритмии [20, 21].

Оценка иных показателей

В 2019 г. Hong Luo et al. разработали и испытали новые вычислительные модели для определения величины артериального давления (АД) по видеозаписям лица, снятым веб-камерой смартфона [22]. Диапазон погрешности данного метода по сравнению с эталонным, полученным от обычного тонометра, составил 0,39–7,3 мм рт. ст. для систолического АД, 0,2–6,0 мм рт. ст. для диастолического АД и 0,52–6,42 мм рт. ст. для пульсового АД. Подобные результаты показывают достаточный уровень достоверности данного метода для его дальнейшего использования в медицинской практике. Однако при проведении данного клинического исследования все измерения проводились среди совершеннолетних людей со значениями АД, находящимися в пределах нормы. Необходимо продолжить изучение разработанных методов вычисления, для оценки чувствительности и специфичности анализа видеозаписи лица в определении уровня АД, выходящего за пределы нормы [23, 24].

Высокой информативностью данный метод обладает при измерении ЧСС. Так, было проведено клиническое исследование, доказавшее, что результаты, полученные при веб-ФПГ, обладают высокой достоверностью, а оптимальными зонами для проведения измерения являются области губ, носа и переносицы [25, 26].

Не только видеозапись, но и фотографии, сделанные с помощью телефона, имеют определенную диагностическую ценность. Китайские ученые в 2019 г. в своей статье представили результаты двухлетнего исследования, посвященного разработке и апробации алгоритма для выявления ишемической болезни сердца (ИБС) по фотографиям лица, выполненным в трех проекциях. По результатам исследования чувствительность метода составила 80 % по сравнению с эталонным рентгенологическим, а специфичность – 54 %. Данные показатели превышают диагностическую ценность ранее используемых шкал Diamond-Forrester и CAD Consortium [27].

Информативность анализа записей с веб-камеры можно значительно расширить за счет интеграции ее с другими устройствами для изучения различных функций организма человека. Так, высокую перспективность показывает в настоящее время теплотрия. Еще с начала века проводились различные исследования по применению тепловизорных камер в функциональной диагностике [28]. Было доказано, что при развитии злокачественных новообразований, воспалительных или инфекционных процессов изменение температуры предшествует формированию морфологических изменений в организме. Таким образом, регистрация и анализ изменений естественного излучения тела человека проспективно может стать эффективным методом ранней диагностики каких-либо патологических процессов. В 2017 г. было проведено исследование возможностей применения термографической визуализации и анализа динамических процессов по записи лица [29]. Изучение процессов микроциркуляции, потоотделения и дыхания позволяло делать выводы об основных психофизических

показателях личности. Была доказана возможность достоверного анализа изменений активности нервной системы и их корреляция с течением эмоциональных реакций, подтверждена высокая точность количественного измерения частоты дыхания, однако только в спокойном состоянии. В стрессовой ситуации достоверность определения частоты дыхания значительно снижается. Вместе с тем для исследования процесса микроциркуляции метод термографической визуализации оказался малоэффективен, так как локальные движения человека и тепловое излучение поверхности кожи создают «шум», чрезмерный для современных алгоритмов вычисления, и перекрывают быстро затухающие тепловые волны подкожного кровотока [30–32].

Заключение

Применение анализа видеозаписей, сделанных с помощью стандартных камер смартфонов и ноутбуков, представляет большой научный интерес. Значительное количество исследований, посвященных данной теме, доказывает высокую чувствительность и специфичность подобного метода по сравнению с эталонными контактными методами, чаще всего применяющимися в медицинской практике. Веб-капилляроскопия позволяет эффективно изучать микроциркуляторное русло, проводить оценку влияния симпатической и парасимпатической систем на гемодинамику, сделать вывод о состоянии церебрального кровотока.

Веб-ФПГ является чувствительным, простым и эффективным методом регистрации жизненно важных функций организма. Уже доказана его эффективность в использовании в качестве возможного скринингового метода выявления фибрилляции предсердий даже по видеозаписи группы людей, перспективность в использовании измерения АД. Описана возможность использования не только видео, но и фотоматериалов, например, для выявления ИБС. Не менее перспективной является возможность применения метода в совокупности с теплотрией.

Развитие бесконтактных методов исследования является одним из приоритетных направлений в современном здравоохранении. Учитывая широкое распространение и доступность различных девайсов, необходимо дальнейшее изучение возможностей применения веб-камер и мобильных устройств в медицинской практике.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Литература / References

1. Rong Y, Theofanopoulos PC, Trichopoulos GC, Bliss DW. A new principle of pulse detection based on terahertz wave plethysmography. *Sci Rep*. 2022;15:12(1):6347. Doi: 10.1038/s41598-022-09801-w.
2. Волков И.Ю., Сагайдачный А.А., Фомин А.В. Фотоплетизмографическая визуализация гемодинамики и двухмерная оксиметрия // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. – 2022. – Т. 22, № 1. – С. 15–45. [Volkov IYu, Sagaidachnyi AA, Fomin AV.

Photoplethysmographic imaging of hemodynamics and two-dimensional oximetry. Izvestiya of Saratov University. Physics. 2022;22(1):15-45. (In Russ.)]. Doi: 10.18500/1817-3020-2022-22-1-15-45.

3. Yan Y, Ma X, Yao L, Ouyang J. Noncontact measurement of heart rate using facial video illuminated under natural light and signal weighted analysis. *Biomed Mater Eng*. 2015; 26(1):903-909. Doi: 10.3233/BME-151383.

4. Qiao D, He T, Hu B, Li Y. Non-contact physiological signal detection using continuous wave Doppler radar. *Biomed Mater Eng*. 2014;24(1):993-1000. Doi: 10.3233/BME-130896.

5. Hertzman AB. The blood supply of various skin areas as estimated by the photoelectric plethysmograph. *Am J Physiol*. 1938;124(2):328-340. Doi: 10.1152/ajplegacy.1938.124.2.328.

6. Poh MZ, McDuff DJ, Picard RW. Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation. *Optics Express*. 2010;18(10):10762-10774. Doi: 10.1364/OE.18.010762.

7. Scully CG, Lee J, Meyer J, Gorbach AM, Granquist-Fraser D, Mendelson Y, Chon KH. Physiological parameter monitoring from Optical Recordings with a Mobile Phone. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2012;59(2):303-306. Doi: 10.1109/TBME.2011.2163157.

8. Sommermeyer D, Zou D, Ficker JH, Randerath W, Fischer C, Penzel T, Sanner B, Hedner J, Grote L. Detection of cardiovascular risk from a photoplethysmographic signal using a matching pursuit algorithm. *Med Biol Eng Comput*. 2016;54(7):1111-1121. Doi: 10.1007/s11517-015-1410-8.

9. Peltokangas M, Vehkaoja A, Huotari M, Verho J, Mattila VM, Röning J, Ronsi P, Lekkala J, Oksala N. Combining finger and toe photoplethysmograms for the detection of atherosclerosis. *Physiol Meas*. 2017;38(2):139-154. Doi: 10.1088/1361-6579/aa4eb0.

10. Bousefsaf F, Maaoui C, Pruski A. Peripheral vasomotor activity assessment using a continuous wavelet analysis on webcam photoplethysmographic signals. *Biomed Mater Eng*. 2016;27(5):527-538. Doi: 10.3233/BME-161606.

11. Martini R, Bagno A. The wavelet analysis for the assessment of microvascular function with laser Doppler fluxmetry over the last 20 years. Looking for hidden information. *Clin Hemorheol Microcirc*. 2018;70(2):213-229. Doi: 10.3233/CH-189903.

12. Gurov IP, Volkov MV, Margaryants NB, Potemkin AV. Method of bringing locally varying images into coincidence in video capillaroscopy. *J Optical Technol*. 2019;86(12):774-780. Doi: 10.1364/jot.86.000774.

13. Федорович А.А., Драпкина О.М. Веб-капилляроскопия – новый метод неинвазивного исследования микроциркуляторного кровотока в коже человека // Профилактическая медицина. – 2020. – Т. 23, № 4. – С. 115–118. [Fedorovich AA, Drapkina OM. Web capillaroscopy – a new method of non-invasive research of microcirculatory blood flow in human skin. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2020;23(4):115-118. (In Russ.)]. Doi: 10.17116/profmed202023041115.

14. Анализ особенностей микроциркуляторного кровотока кожи лба и пальца человека / Красников Г.В., Красникова И.В., Тюрина М.И., Пискунова Г.М. // Смоленский медицинский альманах. – 2018. – № 4. – С. 162–164. [Krasnikov GV, Krasnikova IV, Tyurina MY, Piskunova GM. Analysis of characteristics of microcirculatory blood flow of forehead and finger skin of the of a person. *Smolenskiy meditsinskiy al'manakh*. 2018;(4):162-164 (In Russ.)].

15. Анисимова А.В., Крупаткин А.И., Сидоров В.В. и др. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния микроциркуляции у пациентов с острой и хронической цереброваскулярной недостаточностью // Регионарное

кровообращение и микроциркуляция. – 2014. – Т. 13, № 3. – С. 31–37. [Anisimova AV, Krupatkin AI, Sidorov VV, Zakharkina MV, Yutskova EV, Galkin SS. Laser Doppler flowmetry in the assessment of the microcirculation in patients with acute and chronic cerebrovascular insufficiency. Regional blood circulation and microcirculation. 2014;13(3):31–37 (In Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2014-13-3-31-37.

16. De Ridder B, Van Rompaey B, Kampen J et al. Smartphone apps using photoplethysmography for heart rate monitoring: Meta-analysis. *JMIR Cardiol*. 2018;2(1):e4. Doi: 10.2196/cardio.8802.

17. Yan BP, Lai WHS, Chan CKY, Chan SCH, Chan L-H, Lam K-M, Lau H-W, Ng C-M, Tai L-Y, Yip K-W, To OTL, Freedman B, Poh YC, Poh M-Z. Contact-free screening of atrial fibrillation by a smartphone using facial pulsatile photoplethysmographic signals. *J Am Heart Assoc*. 2018;7(8):e008585. Doi: 10.1161/JAHA.118.008585.

18. Kublanov V, Purto K, Belkov D. Remote Photoplethysmography for the Neuro-electrostimulation Procedures Monitoring. *Sci Technol Publications*. 2017;4:307–314. Doi: 10.5220/0006176003070314.

19. Yan BP, Lai WHS, Chan CKY et al. High-throughput, contact-free detection of atrial fibrillation from video with deep learning. *JAMA Cardiol*. 2020;5(1):105–107. Doi: 10.1001/jamacardio.2019.4004.

20. Varma N, Cygankiewicz I, Turakhia M, Heidbuchel H, Hu Y, Chen LY, Couderc JP, Cronin EM, Estep JD, Grieten L, Lane DA, Mehra R, Page A, Passman R, Piccini J, Piotrowicz E, Piotrowicz R, Platonov PG, Ribeiro AL, Rich RE, Russo AM, Slotwiner D, Steinberg JS, Svennberg E. 2021 ISHNE/HRSE/EPHRA/APHRS collaborative statement on mHealth in arrhythmia management: digital medical tools for heart rhythm professionals. *Ann Noninvasive Electrocardiol*. 2021;26(2):e12795. Doi: 10.1111/anec.12795.

21. Федорович А.А., Горшков А.Ю., Драпкина О.М. Современные возможности неинвазивного исследования и дистанционного мониторинга капиллярного кровотока в коже человека // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2020. – Т. 19, № 4. – С. 87–91. [Fedorovich AA, Gorshkov AY, Drapkina OM. Modern possibilities of non-invasive research and remote monitoring of capillary blood flow in human skin. Regional blood circulation and microcirculation. 2020;19(4):87–91. (In Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2020-19-4-87-91.

22. Luo H, Yang D, Barszczyk A et al. Smartphone-based blood pressure measurement using transdermal optical imaging technology. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2019;12:e008857. Doi: 10.1161/CIRCIMAGING.119.008857.

23. Schoettker P, Degott J, Hofmann G, Proença M, Bonnier G, Lemkaddem A, Lemay M, Schorer R, Christen U, Knebel JF, Wuerzner A, Burnier M, Wuerzner G. Blood pressure measurements with the OptiBP smartphone app validated against reference auscultatory measurements. *Sci Rep*. 2020;10(1):17827. Doi: 10.1038/s41598-020-74955-4.

24. Iuchi K, Miyazaki R, Cardoso GC, Ogawa-Ochiai K, Tsumura N. Blood pressure estimation by spatial pulse-wave dynamics in a facial video. *Biomed Opt Express*. 2022;25(11):6035–6047. Doi: 10.1364/BOE.473166.

25. Yu SG, Kim SE, Kim NH, Suh KH, Lee EC. Pulse Rate Variability Analysis Using Remote Photoplethysmography Signals. *Sensors (Basel)*. 2021;21(18):6241. Doi: 10.3390/s21186241.

26. Kopeliovich MV, Petrushan MV. Optimal Facial Areas for Webcam-Based Photoplethysmography. *Pattern Recognition and Image Analysis (Advances in Mathematical Theory and Applications)*. 2016;26(1):150–154. Doi: 10.1134/S1054661816010120.

27. Lin S, Li Z, Fu B, Chen S, Li X, Wang Y et al. Feasibility of using deep learning to detect coronary artery disease based on facial photo. *Eur Heart J*. 2020;41(46):4400–4411. Doi: 10.1093/eurheartj/ehaa640.

28. Elgendi M, Fletcher R, Norton I, Brearley M, Abbott D, Lovell NH, Schuurmans D. On Time Domain Analysis of Photoplethysmogram Signals for Monitoring Heat Stress. *Sensors (Basel)*. 2015;15(10):24716–24734. Doi: 10.3390/s151024716.

29. Знаменская И.А., Коротеева Е.Ю., Хахалин А.В. и др. Термографическая визуализация и анализ изображений динамических процессов в области лица // Вестн. Моск. университета. Серия 3. Физика. Астрономия. – 2017. – № 6. – С. 88–93. [Znamenskaya IA, Koroteyeva EY, Khakhalin AV, Shishakov VV, Isaichev SA, Chernorizov AM. Infrared thermography and image analysis of dynamic processes around the facial area. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3. Fizika. Astronomiya*. 2017(6):88–93. (In Russ.)].

30. Морозов А.М., Жуков С.В., Сороковикова Т.В. и др. Медицинское тепловидение: возможности и перспективы метода // Мед. совет. – 2022. – Т. 16, № 6. – С. 256–263. [Morozov AM, Zhukov SV, Sorokovikova TV, Ilkaeva VN, Belyak MA, Pototskaya LA, Minakova JE. Medical thermovision: possibilities and prospects of the method. *Meditinskiy Sovet*. 2022;16(6):256–263. (In Russ.)]. Doi: 10.21518/2079-701X-2022-16-6-256-263.

31. Al-Khalidi FQ, Al-Kanane SH, Hussain SAA. Monitoring the breathing rate in the human thermal image based on detecting the region of interest. *JATIT*. 2021;99(8):1753–1760.

32. Elphick HE, Alkali AH, Kingshott RK, Burke D, Saatchi R. Exploratory Study to Evaluate Respiratory Rate Using a Thermal Imaging Camera. *Respiration*. 2019;97(3):205–212. Doi: 10.1159/000490546.

Информация об авторах:

Гаранин Андрей Александрович – канд. мед. наук, директор научно-практического центра дистанционной медицины, Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Россия, e-mail: sameagle@yandex.ru.

Рогова Валерия Сергеевна – врач по медицинской профилактике научно-практического центра дистанционной медицины, Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Россия, e-mail: v.s.rogova@samsmu.ru.

Иванчина Полина Сергеевна – врач по медицинской профилактике научно-практического центра дистанционной медицины, Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Россия, e-mail: p.s.ivanchina@samsmu.ru.

Толкачева Елена Олеговна – врач по медицинской профилактике научно-практического центра дистанционной медицины, Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Россия, e-mail: e.o.tolkacheva@samsmu.ru.

Authors information:

Garanin Andrey A. – Candidate (PhD) of Medical Sciences, Director, Scientific and Practical Center for Distance Medicine, Samara State Medical University, Samara, Russia, e-mail: sameagle@yandex.ru.

Rogova Valeria S. – Preventive Medicine Doctor, Scientific and Practical Center for Distance Medicine, Samara State Medical University, Samara, Russia, e-mail: v.s.rogova@samsmu.ru.

Ivanchina Polina S. – Preventive Medicine Doctor, Scientific and Practical Center for Distance Medicine, Samara State Medical University, Samara, Russia, e-mail: p.s.ivanchina@samsmu.ru.

Tolkacheva Elena O. – Preventive Medicine Doctor, Scientific and Practical Center for Distance Medicine, Samara State Medical University, Samara, Russia, e-mail: e.o.tolkacheva@samsmu.ru.