

Смартфон в медицине — от справочника к диагностической системе. Обзор современного состояния вопроса

Федорович А. А.^{1,2}, Горшков А. Ю.¹, Королев А. И.¹, Драпкина О. М.¹

¹ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины" Минздрава России. Москва; ²ФГБУН ГНЦ РФ "Институт медико-биологических проблем" РАН. Москва, Россия

В работе приводится краткий обзор современных возможностей применения смартфона в качестве диагностического прибора широкого профиля. В одних случаях требуются дополнительные специализированные насадки, в других диагностический алгоритм использует только штатные камеры, микрофон и различные встроенные сенсоры смартфона. Развитие направления по интеграции смартфона в систему здравоохранения является современным, актуальным и очень перспективным, учитывая широкое распространение смартфонов среди населения стран мира.

Ключевые слова: смартфон, диагностика, цифровая медицина, дистанционный мониторинг.

Отношения и деятельность: нет.

Поступила 26/05-2022

Рецензия получена 30/06-2022

Принята к публикации 29/08-2022



Для цитирования: Федорович А. А., Горшков А. Ю., Королев А. И., Драпкина О. М. Смартфон в медицине — от справочника к диагностической системе. Обзор современного состояния вопроса. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2022;21(9):3298. doi:10.15829/1728-8800-2022-3298. EDN SCUODX

Smartphone in medicine — from a reference book to a diagnostic system. Overview of the current state of the issue

Fedorovich A. A.^{1,2}, Gorshkov A. Yu.¹, Korolev A. I.¹, Drapkina O. M.¹

¹National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine. Moscow; ²Institute of Biomedical Problems. Moscow, Russia

The paper provides a brief overview of the modern possibilities of using a smartphone as a diagnostic device of a wide profile. In some cases, additional specialized attachments are required. In others, the diagnostic algorithm uses only standard cameras, a microphone and various built-in smartphone sensors. The development of the smartphone integration into the healthcare system is modern, relevant and very promising, given the widespread use of smartphones among the global population.

Keywords: smartphone, diagnostics, digital medicine, remote monitoring.

Relationships and Activities: none.

Fedorovich A. A. * ORCID: 0000-0001-5140-568X, Gorshkov A. Yu. ORCID: 0000-0002-1423-214X, Korolev A. I. ORCID: 0000-0001-9830-8959, Drapkina O. M. ORCID: 0000-0002-4453-8430.

*Corresponding author:

faa-micro@yandex.ru

Received: 26/05-2022

Revision Received: 30/06-2022

Accepted: 29/08-2022

For citation: Fedorovich A. A., Gorshkov A. Yu., Korolev A. I., Drapkina O. M. Smartphone in medicine — from a reference book to a diagnostic system. Overview of the current state of the issue. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2022;21(9):3298. (In Russ.) doi:10.15829/1728-8800-2022-3298. EDN SCUODX

АД — артериальное давление, ВСР — вариабельность сердечного ритма, ИИ — искусственный интеллект, ПАК — программно-аппаратный комплекс, УЗИ — ультразвуковой, ЧСС — частота сердечных сокращений, ЭКГ — электрокардиограмма, COVID-19 — COrona Virus Disease 2019 (новая коронавирусная инфекция).

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):

e-mail: faa-micro@yandex.ru

Тел.: +7 (926) 821-09-63

[Федорович А. А. * — к.м.н., с.н.с. лаборатории микроциркуляции и регионального кровообращения, с.н.с. лаборатории физиологии кардиореспираторной системы и баромедицины, ORCID: 0000-0001-5140-568X, Горшков А. Ю. — к.м.н., руководитель лаборатории микроциркуляции и регионального кровообращения, ORCID: 0000-0002-1423-214X, Королев А. И. — м.н.с. лаборатории микроциркуляции и регионального кровообращения, ORCID: 0000-0001-9830-8959, Драпкина О. М. — д.м.н., профессор, академик РАН, директор, ORCID: 0000-0002-4453-8430].

Ключевые моменты

Что известно о предмете исследования?

- Сегодня широко распространены приложения для смартфонов медицинской направленности — справочные, здоровье и фитнес, женское здоровье, хронические заболевания, прием фарм-препаратов и другие.

Что добавляют результаты исследования?

- Как показывают исследования последних 5-10 лет, технические возможности современных смартфонов позволяют использовать их еще и в качестве непосредственно диагностических приборов широкого профиля с применением дополнительных специализированных насадок или с использованием только штатных камер, микрофонов и других сенсоров. Использование стандартных смартфонов в диагностических целях является перспективным направлением в области здоровьесбережения, позволяя проводить диспансерное наблюдение в режиме удаленного мониторинга.

Key messages

What is already known about the subject?

- Today, medical applications for smartphones are widespread — reference, health and fitness, women's health, chronic diseases, taking pharmaceuticals, and others.

What might this study add?

- As studies of the last 5-10 years show, the technical capabilities of modern smartphones allow them to be also used as direct diagnostic devices of a wide profile with the use of additional specialized attachments or using only standard cameras, microphones, and other sensors. The use of standard smartphones for diagnostic purposes is a promising direction in the field of health care, allowing for dispensary monitoring in remote monitoring mode.

Введение

Жизнь современного человека немыслима без сотового телефона. Технологии превратили компактный аппарат, который изначально предназначался исключительно для голосовой связи, в настоящего конкурента персональных компьютеров. И действительно, даже у самого недорогого смартфона есть значимое преимущество перед ноутбуками или мощными стационарными компьютерами — мы не расстаемся с ним больше чем на час, постоянно обращаясь к этому устройству, чтобы позвонить, посмотреть время, отправить или получить сообщение, прочесть свежие новости в интернете.

В настоящее время сформировалось полное осознание того, что смартфон может быть важным инструментом диагностики и контроля здоровья. Современные смартфоны имеют мощные вычислительные возможности, доступ к неограниченному количеству данных в Интернете, высококачественные камеры и набор сенсоров, что позволяет их использовать для диагностики ряда заболеваний.

Ученые и разработчики превратили смартфоны в микроскопы, кардиомониторы, детекторы тремора, системы контроля психического здоровья и многое другое. Они могут использоваться для сбора и анализа данных о здоровье человека и служить современным диагностическим оборудованием, улучшая доступ миллионов людей во всем мире к медицинскому обслуживанию. По мере того, как смартфоны становятся все более доступными для большего

количества людей, они становятся популярными инструментами здоровьесбережения.

Цель — изучить современные направления развития медицинских приложений для смартфонов и процессы интеграции их в систему дистанционного медицинского сопровождения населения.

Материал и методы

Проведен систематический обзор доступной в интернете информации и литературы в базах данных РИНЦ, RSCI, Scopus, PubMed, Google Scholar по ключевым словам — смартфон, диагностика, дистанционный мониторинг. Одна из первых научных публикаций, в которой продемонстрирован диагностический потенциал штатной камеры смартфона, датируется 2010г [1]. С 2018г отмечается прогрессивное увеличение работ и расширение направлений применения смартфона в медицинской практике. Некоторые приведенные в обзоре работы анонсированы авторскими коллективами, но результаты в научных журналах еще не опубликованы, т.к. работы находятся или на завершающейся стадии разработки, или в процессе оформления патентных прав. По данным ресурса РИНЦ, в отечественной литературе представлены четыре публикации, в которых возможности смартфонов рассматриваются с позиции диагностических приборов [2-5].

Результаты

Все реализованные для смартфонов программы и приложения медицинской направленности можно условно разделить на образовательно-методические, статистические (ведение дневника, счет-

чик шагов, калорий и т.д.), ассоциированные с различными гаджетами (фитнес-браслеты, "умные" часы, ультразвуковые (УЗИ) сканеры и др.), диагностические (с дополнительными насадками или без них).

К первой категории можно отнести доступные программы, которые могут быть полезны при различных жизненных обстоятельствах. Например, неоценимую помощь могут оказать программы, состоящие из советов по оказанию первой медицинской помощи. Приложение в смартфоне позволяет в считанные секунды ознакомиться с правильным алгоритмом оказания неотложной помощи и даже распознать симптомы некоторых острых состояний (инфаркт, инсульт, диабетическая кома и др.). Наиболее популярными являются приложения: "Симптомы и синдромы LITE" (для Android), "DARIGER: стандарты лечения" (для Android и iOS), "Мои анализы" (для Android), "Лекарства" (для iOS), "Первая помощь" (для Android), "Мобильный спасатель" (для iOS).

Ряд специализированных приложений позволяют удобно следить за здоровьем у женщин. Контроль менструального цикла с занесением данных в дневник на смартфоне облегчает процесс планирования беременности, восстановления после аборта, выкидыша, родов или перенесенного гинекологического заболевания. Приложения полезны и беременным женщинам, позволяя им рассчитывать предполагаемую дату родов, напоминают о сроках планового прохождения обязательных диагностических процедур, содержат справочную информацию об ограничениях и противопоказаниях во время вынашивания ребенка и др. Наиболее популярными приложениями для женского здоровья являются — "WomanLog" (для Android и iOS), "MY DAYS" (для Android), "Menstrual Calendar" (для Android и iOS), "Я беременна" (для Android и iOS), "Preggie" (для iOS), "Contraction Monitor" (для iOS), "Full Term" (для Android и iOS).

Методом ведения дневника работает большое количество приложений кардиологического профиля ("Cardio" (для iOS), "Cardiograph" (для Android и iOS), "Instant Heart Rate Pro" (для Android), "myPulse Lite" (для iOS), "Runtastic Heart Rate Pro" (для Android и iOS), "Кровяное давление" (для Android), "SmartBP" (для iOS), "Дневник артериального давления" (для Android), "Метеодоктор" (для Android) и др.). При помощи приложения в смартфоне возможно не только получать статистические данные при измерении артериального давления (АД), которые хранятся в личном кабинете памяти устройства, но и отправлять полученные данные напрямую своему лечащему врачу. Есть тип мобильных приложений, которые позволяют определять влияние метеорологической обстановки на самочувствие, предупреждая о неблагоприятном

атмосферном давлении, высокой или низкой влажности, или просто о резкой смене уличной температуры в ближайшие дни и т.д.

Существует ряд приложений, которые являются полезными непосредственно во время лечения. Они позволяют контролировать прием и дозировку препаратов, напоминают о необходимости записаться на прием к врачу или забрать результаты анализов и т.д. Популярные приложения для контроля терапии — "Pills" (для Android), "Easy Pill" (для iOS), "MediSafe" (для Android), "Моё Лечение" (для Android), "Pill Identifier" (для iOS), "Dropbox2" (для Android и iOS) и др.

Отдельный вид составляют приложения для смартфонов, которые ассоциированы с различными фитнес-браслетами и "умными" часами. Смартфон в данном случае выполняет вспомогательную роль компьютера, архиватора и средства передачи полученной физиологической информации, объем которой определяется набором встроенных в гаджет датчиков/сенсоров и программного обеспечения. Современные модели "умных" часов и браслетов способны регистрировать электрокардиограмму (ЭКГ), частоту сердечных сокращений (ЧСС), вариабельность сердечного ритма (ВСР), АД, сатурацию крови и множество других параметров. Основные гемодинамические параметры (ЧСС, ВСР, АД, сатурация крови) определяются с помощью метода фотоплетизмографии. Применение методов машинного обучения с элементами искусственного интеллекта (ИИ) существенно повышает качество получаемой информации. Так, некоторые модели "умных" часов при измерении АД демонстрируют чувствительность и специфичность на уровне 100 и 92,4%, соответственно [6], а для выявления нарушений ритма сердца (фибриляция предсердий) чувствительность и специфичность достигают 94-98 и 97-98%, соответственно [7, 8].

Существенно расширяют возможности смартфона дополнительные устройства и специализированные насадки к телефону. Наиболее широкое распространение в клинической практике получили насадки для проведения ультразвуковых исследований. Первый портативный УЗИ-сканер, который подключается к смартфону через USB-кабель, получил разрешение на использование в США еще в 2011г. За прошедшее десятилетие модельный ряд портативных УЗИ-сканеров существенно расширился, возросли и их диагностические возможности. Например, в модели "Philips Lumify" (рисунк 1 А) есть режимы цветного доплера и тканевой гармоник, а также опции SonoCT и XPEC. Врач самостоятельно может установить интенсивность и глубину сканирования, активировать доплеровский режим, измерить визуализируемые объекты, а благодаря доступу к онлайн-платформе Philips HealthSuite Digital Platform возможно осу-



Рис. 1 Портативные УЗИ-сканеры: А — проводной "Philips Lumify", Б — беспроводной "Uprobe-C5LC".

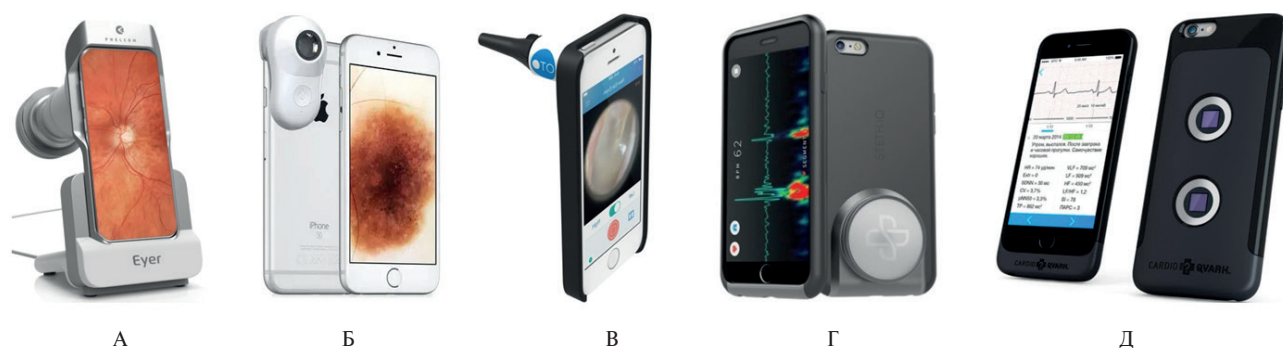


Рис. 2 Диагностические насадки для смартфона: А — "Phelcom Eyer" для исследования глазного дна, Б — "MoleScore 2" для проведения дерматоскопии, В — "TYM Smartphone Otoskop" для проведения отоскопии, Г — "Steth IO" для регистрации дыхательных и сердечных шумов, Д — "CardioQVARK" для регистрации ЭКГ и фотоплетизмограммы.

шестнадцать сложные вычисления и аналитические расчеты, а также воспользоваться эмулятором функций, присущих только стационарным системам. Разработчики из Китая представили свой вариант беспроводного УЗИ-сканера Wi-Fi датчик "Uprobe-C5LC", который в одном корпусе имеет сразу два датчика (конвексный и линейный) и поддерживает различные режимы сканирования: В, В/М, Color, PW, PDI (рисунок 1 Б). Беспроводной Wi-Fi датчик работает с любым смартфоном или планшетом на базе операционных систем Android, iOS и Windows. Сканер имеет беспроводное соединение со смартфоном по Wi-Fi каналу и беспроводную зарядку.

Учеными из Бразилии разработано оптическое устройство "Phelcom Eyer" в виде наклейки на смартфон (рисунок 2 А), которая подключается к камере телефона и предназначена для освещения и получения изображения сетчатки. Сопутствующее приложение отправляет изображения через Интернет в облачную систему Eyer Cloud, которая хранит и обрабатывает снимки сетчатки пациентов. К облачному сервису имеют возможность подключаться врачи-офтальмологи из любой точки плане-

ты. В работе устройства и программного обеспечения применяется алгоритм, построенный на данных обработки и сравнения >10 тыс. фотографий. В настоящее время точность данной системы при автоматическом выявлении диабетической ретинопатии близка к 80% [9]. По мере расширения базы данных точность, по мнению разработчиков алгоритма, будет достигать 95%.

Компактное устройство "MoleScore 2" от компании MetaOptima Technology Inc. представляет собой дополнительное оптическое устройство (рисунок 2 Б), которое обеспечивает фиксацию изображения высокого разрешения любого участка кожи. На контактном объективе есть линейка, которая позволяет оценить точные размеры кожного образования. Все снятые фотографии хранятся в личном кабинете. Через приложение DermEngine, обеспечивающее конфиденциальность и удобную связь, изображения передаются лечащему врачу для анализа и удаленной проверки. Приложение на смартфоне также может напомнить о необходимости повторного анализа кожных образований. Направление по анализу кожных образований с помощью цифровых фотографий с использованием

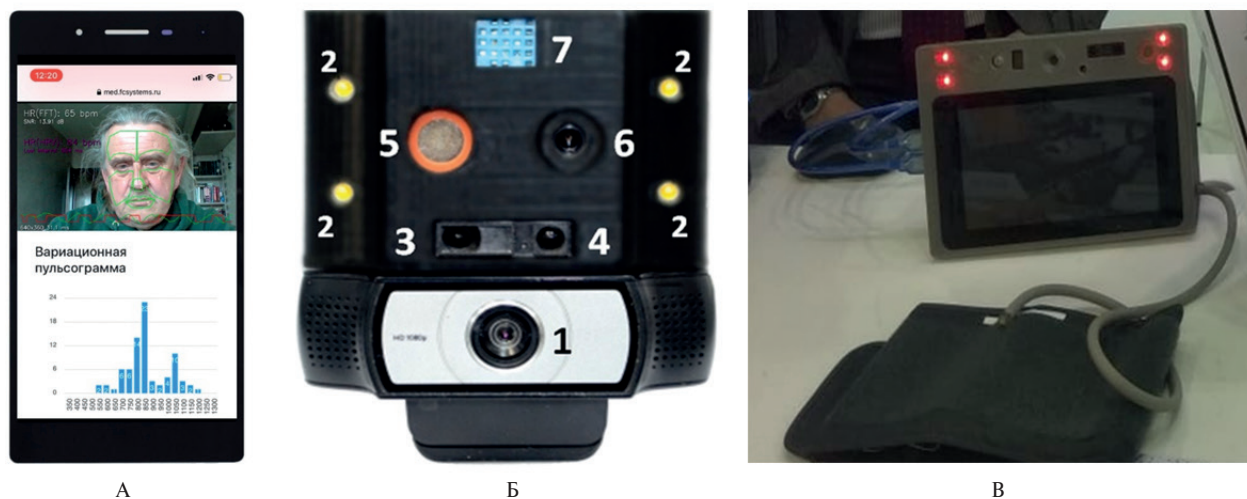


Рис. 3 Разработки ООО "ФК Системс" (Россия): А — мобильная версия видеоплетизмографии для смартфона, Б — ПАК (1 — веб-камера, 2 — подсветка, 3 — дальномер, 4 — микрофон, 5 — анализатор газового состава выдыхаемого воздуха, 6 — инфракрасный термометр, 7 — датчик температуры и влажности выдыхаемого воздуха), В — ПАК (Б), интегрированный в единый блок с планшетным компьютером и автоматическим тонометром (опционально).

ИИ активно развивается во всем мире [10]. Как показало исследование с участием большой международной группы из 58 дерматологов (30 экспертов), большинство специалистов, включая экспертов, уступают ИИ [11].

Компания Cupris Health разработала отоскоп "ТУМ Smartphone Otoskop" в виде дополнительного объектива для смартфона (рисунок 2 В), который может использоваться для диагностики различных заболеваний уха. Технология позволяет делать фотографии и видео барабанной перепонки, которые затем отправляются специалисту для анализа. Устройство работает совместно с приложением, которое, кроме захвата и пересылки изображений и видео, предлагает опросники, зависящие от конкретного заболевания, а также обеспечивает возможность аудиозаписи и ввода сопроводительного текста. Приложение обеспечивает безопасное соединение с другими пользователями платформы Cupris Health с целью совместного анализа результатов исследования с помощью защищенного облачного сервиса.

Стереофонический стетоскоп "Steth IO" (рисунок 2 Г) выполнен в виде чехла для смартфонов и в паре со специальным приложением позволяет с высокой точностью не только воспроизводить, но и визуализировать звуки сердца и легких. Программа имеет встроенные фильтры, способные отображать мельчайшие шумы, записывать и выделять любые области аудиограмм и делиться ими с другими специалистами.

По аналогичной схеме (чехол для смартфона) выполнен и кардиомонитор Российского производства "CardioQVARK". На задней части чехла расположены 2 электрода, которые позволяют реги-

стрировать ЭКГ по стандартному отведению I (рисунок 2 Д). Для проведения процедуры достаточно приложить пальцы к электродам и запустить приложение. Процесс регистрации ЭКГ длится от 30 сек до 5 мин. После окончания измерений данные отправляются на сервер для расшифровки и уже через несколько секунд результаты отображаются в карточке пациента на смартфоне [2, 3]. Последние модели "CardioQVARK" имеют дополнительный фотоплетизмографический датчик, который располагается в центре одного из электродов ЭКГ, что позволяет одновременно с ЭКГ регистрировать фотоплетизмограмму в подушечке ногтевой фаланги пальца.

Израильское подразделение немецкой фирмы Medical Electronic Systems выпустило набор, который позволяет мужчинам проверить количество сперматозоидов и оценить их подвижность в домашних условиях. Этот тест использует смартфон и электронное устройство многократного использования, которое закрепляется на смартфоне, для визуализации в реальном времени движения сперматозоидов. Точность тестирования превышает 97% [12]. Этот комплект, получивший название "YO", является первым в своем роде набором, который уже получил официальное разрешение на использование от израильских, европейских и американских регулирующих органов.

Корейские специалисты из компании Idgor разработали устройство, которое подключается к задней панели смартфона и использует в своей работе его камеру и светодиод. Встроенный в заднюю панель сенсор использует камеру смартфона и освещение для колориметрического анализа образца крови. Разработчики создали систему, кото-

рая по анализу крови способна определять уровень глюкозы, гемоглобина и мочевой кислоты. В своей работе устройство использует одноразовые сенсоры — тестовые полоски, изготовленные из бумаги.

Израильская компания Healthy.io для анализа мочи разработала набор "Dip.io", в котором смартфон выступает в качестве диагностического устройства клинического уровня. Это первый набор для анализа мочи на базе смартфона, прошедший сертификацию FDA (Food and Drug Administration, США). Healthy.io использует для проведения анализа метод распознавания цвета, систему компьютерного зрения и алгоритмы ИИ, а также набор для получения образца мочи и тестовые полоски. Пациенту достаточно поместить полоску в емкость с мочой, подождать 2 мин и сделать снимок. Приложение произведет цветокоррекцию с анализом и даст заключение. При этом результаты анализа не уступают по точности исследованиям, проведенным в профессиональной лаборатории. Система не только экономит время и расходы, но и увеличивает число людей, которые проходят необходимую проверку. В эксперименте, проведенном Национальной службой здравоохранения Великобритании среди пациентов с сахарным диабетом I типа, которые >18 мес. не проходили обследование, провели исследование в домашних условиях. Отклик среди пациентов составил 72%, и у многих из них удалось выявить заболевание почек на ранней стадии [13]. Аналогичные (71,1%) результаты отклика среди пациентов с артериальной гипертензией продемонстрированы и в другом исследовании, которое проводилось в США [14]. В настоящее время в компании намерены масштабировать технологию для выявления онкологической патологии и болезней сердечно-сосудистой системы.

Пандемия новой коронавирусной инфекции COVID-19 (COrona VIrus Disease 2019) способствовала активному развитию телемедицинских технологий, в т.ч. с использованием достижений индустрии смартфонов. Американские ученые разработали способ экспресс-диагностики COVID-19 при помощи смартфона [15]. Тестер — это корпус с окошком, внутри которого расположен флуоресцентный детектор, подсвечиваемый лазером. Сверху на линзу помещают смартфон, и происходит процесс поиска вируса. Для диагностики требуется взять мазок из носоглотки, сфотографировать и поднести к чувствительному датчику тестера. Тест базируется на технологии обнаружения рибонуклеиновой кислоты, за счет ее связей с ферментом Cas13, минуя проведение полимеразной цепной реакции, применяемой в большинстве тест-систем. Благодаря этому анализ выполняется за 30 мин, что ускоряет тестирование, а использование смартфонов, которые есть у большинства населения, еще и удешевляет. Эта же команда исследователей в 2018г успешно завершила

работу по диагностике вируса иммунодефицита человека подобным методом.

Другая группа ученых из США разработали систему, которая использует обычный смартфон для диагностики различных инфекционных заболеваний. Система состоит из смартфона и напечатанной на 3D-принтере диагностической подложки размером с пластиковую карту, которая содержит оптические и электрические компоненты и взаимодействует с камерой смартфона. Система использует смартфон для получения и интерпретации "живых" изображений реакции ферментативной амплификации, которая происходит на микрофлюидном кремниевом чипе. Чип за счет реакции генерирует специфическое излучение, которое обеспечивает визуальное считывание теста. Система была протестирована при диагностике респираторных заболеваний, а также обнаружении и количественной оценке присутствия в капле крови вирусов Зика, Денге и Чикунгунья. Через 30 мин система демонстрирует результаты, сопоставимые с результатами анализов, полученных лабораторными методами и инструментами [16].

Сегодня существует уже целый ряд медицинских приложений, которые не требуют подключения к смартфону каких-либо дополнительных насадок или приборов, а используют штатные камеры, микрофон и сенсоры смартфона.

Ученые из Массачусетского технологического института обнаружили, что бессимптомные по COVID-19 люди могут отличаться от здоровых тем, как они кашляют. Эти различия не может определить человеческое ухо, но зато это делает ИИ, который отличает бессимптомных людей от здоровых, анализируя характеристики принудительного кашля, записанного на смартфон. Обученная на десятках тысяч образцов кашля и речи, эта модель продемонстрировала чувствительность 98,5% и специфичность 94,2% у людей с клиническими проявлениями COVID-19, а у пациентов с бессимптомной формой чувствительность достигла 100% при специфичности в 83,2% [17].

Похожая разработка появилась в Австралии, где создано приложение ResAppDx, помогающее врачам диагностировать наиболее распространенные респираторные болезни (заболевания нижних дыхательных путей, пневмонию, обострение астмы, бронхолит, круп и обострение хронической обструктивной болезни легких) как у детей, так и у взрослых. ResAppDx анализирует характеристику кашля — частоту, глубину, влажность, момент возникновения (на вдохе или выдохе), что в перспективе поможет заменить массу лабораторных исследований и ускорить постановку точного диагноза. Пациенты загружают приложение на свои смартфоны и после инструктажа делают пять записей кашля с помощью микрофона смартфона. Ал-

горитм приложения анализирует записи в течение нескольких секунд, обеспечивая точность диагноза на уровне 81-97% [18]. Данное приложение уже сертифицировано в Австралии и Европе.

Группой европейских ученых разработано приложение, которое позволяет выявлять с помощью смартфона различные нарушения дыхания во время сна. Смартфон испускает звуковые волны из спикера смартфона для отслеживания режима дыхания. Это полностью исключает необходимость надевать какие-либо датчики. Принцип работы напоминает сонар у летучих мышей и хорошо работает на расстоянии около метра. Человек может лежать в любой позе, и даже под одеялом. Приложение выявляет признаки апноэ (центральное апноэ, обструктивное апноэ и гипопноэ) с высокой точностью [19]. Выход приложения для гражданского пользования ожидается в ближайшие 1-2 года.

В канадской компании WinterLight Labs разработали приложение, которое реагирует на малозаметные сигналы в голосе. Оно помогает анализировать речь и выявлять болезнь Альцгеймера, возрастную нейродегенерацию, признаки афазии — например, после микроинсульта. На данный момент диагностический алгоритм адаптируют под смартфоны.

В Греции разрабатывают приложение для ранней диагностики болезни Паркинсона. Оно будет оценивать состояние человека по голосу, селфи, а также по наличию тремора рук в процессе использования смартфона.

Группа ученых из США научили смартфон диагностировать даже остеопороз, для чего требуется взять смартфон в руку и нажать им на собственный локоть. Полученные с помощью датчика движения данные определяют сгенерированные резонансы, что позволяет оценить реальную плотность ткани. При ее снижении изменяется частота колебаний руки.

Группа ученых из Индии разработала приложение, которое по снимку слизистой поверхности нижнего века определяет уровень гемоглобина. В норме слизистая имеет розовый цвет, но при снижении уровня гемоглобина оттенки розового бледнеют. Авторы заявляют, что разработанный ими алгоритм позволяет определять уровень гемоглобина по фотографии смартфона с точностью, приближенной к лабораторным данным [20].

Другим направлением применения камеры смартфона являются оценка частоты и регулярности сердечного ритма. Первые сообщения о возможности оценивать частоту сердечного ритма с помощью веб-камеры появились в 2010г [1, 21]. В 2012г Scully CG, et al. показали возможность извлечения из видеозаписей камеры смартфона информации не только о ЧСС, но и частоте дыхательных движений и сатурации кислорода. Авторы отмечают, что полу-

чаемые с помощью камеры смартфона данные хорошо согласуются с результатами общепризнанных инструментальных методов исследования указанных показателей [22]. В 2018г были опубликованы данные метаанализа 14 исследований (суммарно ~400 испытуемых), в которых сопоставлялись данные ЧСС, определенные с помощью камеры смартфонов и стандартными клиническими методами [23]. Анализ показал очень высокую согласованность полученных результатов во всех исследованиях. В том же году Yan BP, et al. с коллегами привели результаты исследования сердечного ритма с помощью 12-канальной ЭКГ, фронтальной камеры смартфона с расстояния 30 см до кожи лица и контактным способом в подушечке пальца кисти тыльной камерой у 217 пациентов кардиологического профиля. Чувствительность и специфичность при регистрации сердечного ритма в коже лица составила 94,7 и 95,8%, в коже пальца 94,7 и 93,0%, соответственно [24]. В дальнейшем, используя методы глубокого машинного обучения с элементами ИИ, авторы разработали алгоритм оценки и анализа сердечного ритма с помощью одной веб-камеры с расстояния в 1,5 м одновременно у пяти человек, выявляя наличие ФП [25]. В январе 2021г Международное общество холтеровского мониторинга и неинвазивной электрокардиологии, Общество сердечного ритма, Европейская ассоциация сердечного ритма и Азиатско-тихоокеанское общество сердечного ритма опубликовали совместное заявление по текущему статусу технологий мобильного здравоохранения ("mHealth") в лечении аритмии. В заявлении подчеркивается — использование любых мобильных устройств с камерами является простым и легко масштабируемым методом диагностики нарушений ритма сердца, что может изменить подход к скринингу фибрилляции предсердий [26].

Коллектив ученых из Канады и Китая, используя метод глубокого машинного обучения с элементами ИИ, разработали алгоритм, который позволяет прогнозировать уровень систолического АД с точностью 94,8% и диастолического АД с точностью 95,7% по двухминутным видеофрагментам кожи лица фронтальной камерой смартфона с расстояния 40-60 см. Заявленные параметры точности определения уровня АД соответствуют только диапазону 100-140 мм рт.ст. для систолического АД и 60-90 мм рт.ст. для диастолического АД [27]. В настоящее время авторы работают над расширением диапазона измеряемых величин АД.

В России исследования в данном направлении ведутся в ФГБУ "НМИЦ ТПМ" Минздрава России. Работа идет параллельно по нескольким направлениям. Во-первых, анализ видеофрагментов с помощью камеры смартфона/планшета/ноутбука или выносной веб-камеры проводится в различных участках кожного покрова лица. Это позволя-

ет получать информацию не только о ЧСС и ВСР, но и о вазомоторной активности резистивных прекапиллярных артериол, которые непосредственно формируют параметры капиллярного кровотока в различных участках кожи лица [4, 5, 28]. Акцент делается на то, что разные участки кожи лица имеют различные источники кровоснабжения (система внутренней или наружной сонных артерий) и различную структурную организацию микроциркуляторного русла, что необходимо учитывать при анализе получаемых данных (рисунок 3 А). Например, китайские исследователи при разработке компьютерного алгоритма для предсказания наличия поражения коронарных артерий по цифровым фотографиям лица и головы в трех проекциях выявили, что наибольший вклад в информативность модели вносили области носа и губ, а сам алгоритм показал более высокий предсказательный результат, чем шкалы Diamond-Forrester и CAD Consortium [29].

Во-вторых, для решения специальных задач разработчики предлагают интегрировать в единый программно-аппаратный комплекс (ПАК) веб-камеру, инфракрасный термометр, газоанализатор выдыхаемого воздуха, анализатор температуры и влажности выдыхаемого воздуха, дальномер, микрофон (рисунок 3 Б). Наличие дальномера и подсветки позволяет стандартизировать процесс исследования и получать наиболее корректные данные. Веб-камера и ИК-термометр дают информацию о температуре кожи, характере ее перфузии, ЧСС и ВСР. Микрофон, газоанализатор и анализатор температуры и влажности выдыхаемого воздуха совместно дают дополнительную информацию о дыхательной и выделительной функции легких. Разработчики предлагают вариант интеграции ПАК с планшетным компьютером и автоматическим тонометром в единый блок, что существенно расширяет функциональные возможности данного метода исследования (рисунок 3 В). На основе глубокого машинного обучения с элементами ИИ ведется разработка алгоритма для бесконтактного определения уровня АД и сатурации крови по данным видеоплетизмографии. Разработки компании имеют евразийскую патентную защиту.

Литература/References

1. Pelegris P, Banitsas K, Orbach T, et al. A novel method to detect Heart Beat Rate using a mobile phone. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2010;5488-91. doi:10.1109/IEMBS.2010.5626580.
2. Sountsova OV, Rakhmanina MA. High-tech methods of electrocardiography. Innovation and Investment. 2015;10:222-5. (In Russ.) Сунцова О. В., Рахманина М. А. Высокотехнологичные методы электрокардиографии. Инновации и Инвестиции. 2015;10:222-5.
3. Chaykovskaya MK, Sountsova OV. Remote monitoring of patient's ECG as part of the integrated approach in the observation of the patients with arrhythmias (case study). J New

Заключение

Сфера применения мобильной электроники постепенно приобретает все большие масштабы, охватывая множество направлений и сегментов использования гаджетов в повседневной жизни человека. Не обошли стороной сферу здравоохранения и смартфоны, которые стремительно превращаются в полноценные инструменты для профилактики, диагностики и контроля заболеваний. Технические возможности современных смартфонов позволяют применять их в качестве диагностических приборов при самом широком спектре заболеваний, а некоторые программы уже прошли сертификацию и одобрены для клинического применения в ведущих странах мира.

Современные штатные камеры, микрофоны и различные сенсоры смартфонов с каждым годом становятся все лучше, расширяя возможности устройств до недостижимых для некоторых специализированных медицинских приборов высот. И эти возможности необходимо использовать, учитывая распространение смартфонов среди населения, в т.ч. и на территории РФ.

Уже сегодня "умные" системы могут ставить правильные диагнозы в большинстве случаев. Если же подойти к их развитию, опираясь на концепцию гибридного интеллекта (совместное развитие человека и машины), то процент правильных диагнозов будет только расти. По мере накопления большого массива клинических данных, в процессе глубокого машинного обучения с элементами ИИ число ошибочных заключений будет приближаться к нулю. Для набора массива клинических данных, необходимых для обучения ИИ, достаточно уже имеющегося медицинского оборудования, а веб-камеры сегодня есть у каждого врача и в кармане, и в ординаторской. Развитие данного направления является необходимым и перспективным, а решение задачи лежит в плоскости интеграции врачебного сообщества с IT-специалистами.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

- Medical Technologies, eEdition. 2017;1:129-34. (In Russ.) Чайковская М. К., Сунцова О. В. Удаленный мониторинг ЭКГ пациента, как часть комплексного подхода при ведении больных с нарушениями ритма сердца (случай из практики). Вестник новых медицинских технологий. 2017;1:129-34.
4. 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):100-3. (In Russ.) Федорович А. А., Драпкина О. М. Веб-капилляроскопия — новый метод неинвазивного исследования микроциркуляторного кровотока в коже человека.

- Профилактическая медицина. 2020;23(4):100-3. doi:10.17116/profmed202023041100.
5. Fedorovich AA, Gorshkov AYu, Drapkina OM. Modern possibilities of non-invasive research and remote monitoring of capillary blood flow in human skin. *Regional Hemodynamics and Microcirculation*. 2020;19(4):87-91. (In Russ.) 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;19(4):87-91. doi:10.24884/1682-2020-19-4-87-91.
 6. Nachman D, Gepner Y, Goldstein N, et al. Comparing blood pressure measurements between a photoplethysmography-based and a standard cuff-based manometry device. *Scientific Reports*. 2020;10:16116. doi:10.1038/s41598-020-73172-3.
 7. Bashar SK, Han D, Hajeb-Mohammadalipour S, et al. Atrial fibrillation detection from wrist photoplethysmography signals using smartwatches. *Sci Rep*. 2019;9:15054. doi:10.1038/s41598-019-49092-2.
 8. Dorr M, Nohturfft V, Brasier N, et al. The Watch AF trial: SmartWATCHes for detection of atrial fibrillation. *JACC: Clin Electrophysiol*. 2019;5(2):199-208. doi:10.1016/j.jacep.2018.10.006.
 9. Malerbi FK, Andrade RE, Morales PH, et al. Diabetic retinopathy screening using artificial intelligence and handheld smartphone-based retinal camera. *J Diabet Sci Technol*. 2021:1-8. doi:10.1177/1932296820985567.
 10. Udrea A, Mitra GD, Costea D, et al. Accuracy of a smartphone application for triage of skin based on machine learning algorithms. *Dermatol Venereol*. 2020;34(3):648-55. doi:10.1111/jdv15935.
 11. Haenssel HA, Fink C, Schneiderbauer R, et al. Man against machine: diagnostic performance of a deep learning convolutional neural network for dermoscopic melanoma recognition in comparison to 58 dermatologists. *Ann Oncol*. 2018;29(8):1836-42. doi:10.1093/annonc/mdy166.
 12. Agarwal A, Selvam MKP, Sharma R, et al. Home sperm testing device versus laboratory sperm quality analyzer: comparison of motile sperm concentration. *Fertil Steril*. 2018;110(7):1277-83. doi:10.1016/j.fertnstert.2018.08.049.
 13. Shore J, Green M, Hardy A, et al. The compliance and cost-effectiveness of smartphone urinalysis albumin screening for people with diabetes in England. *Expert Rev Pharmacoecon Outcomes Res*. 2020;20(4):387-95. doi:10.1080/14737167.2019.1650024.
 14. Leddy J, Grenn JA, Yule C, et al. Improving proteinuria screening with mailed smartphone urinalysis testing in previously unscreened patients with hypertension: a randomized controlled trial. *BMC Nephrol*. 2019;20:132. doi:10.1186/s12882-019-1324-z.
 15. Fozouni P, Son S, Derby MDL, et al. Amplification-free detection of SARS-CoV-2 with CRISP-Cas13a and mobile phone microscopy. *Cell*. 2021;184:323-33. doi:10.1016/j.cell.2020.12.001.
 16. Ganguli A, Ornob A, Yu H, et al. Hands-free smartphone-based diagnostics for simultaneous detection of Zika, Chikungunya, and Dengue at point-of-care. *Biomed Microdevices*. 2017;19(4):73. doi:10.1007/s10544-017-0209-9.
 17. Laguarda J, Puig FH, Subirana B. COVID-19 artificial intelligence diagnosis using only cough recording. *IEEE Open J Eng Med Biol*. 2020;1:275-281. doi:10.1109/OJEMB.2020.3026928.
 18. Porter P, Claxton S, Brisbane J, et al. Diagnosing chronic obstructive airway disease on a smartphone using patient-reported symptoms and cough analysis: diagnostic accuracy study. *JMIR Form Res*. 2020;4(11):e24587. doi:10.2196/24587.
 19. Lyon G, Tiron R, Zaffaroni A, et al. Detection of sleep apnea using sonar smartphone technology. *Annual Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2019;7193-6. doi:10.1109/EMBC.2019.8857836.
 20. Ghosal S, Das D, Venkanna U, et al. sHEMO: Smartphone spectroscopy for blood hemoglobin level monitoring in smart anemia-care. *IEEE Sensors J*. 2020;99:1. doi:10.1109/JSEN.2020.3044386.
 21. Poh MZ, McDuff DJ, Picard RW. Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation. *Optics Express*. 2010;18(10):10762-74. doi:10.1364/OE.18.010762.
 22. Scully CG, Lee J, Meyer J, et al. Physiological parameter monitoring from optical recordings with a mobile phone. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2012;59(2):303-6. doi:10.1109/TBME.2011.2163157.
 23. De Ridder B, Van Rompaey B, Kampen JK, et al. Smartphone apps using photoplethysmography for heart rate monitoring: Meta-analysis. *JMIR Cardiol*. 2018;2(1):e4. doi:10.2196/cardio.8802.
 24. Yan BP, Lai WHS, Chan CKY, et al. 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.
 25. 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):105-7. doi:10.1001/jamacardio.2019.4004.
 26. Varma N, Cygankiewicz I, Turakhia M, et al. 2021 ISHNE/HRS/EHRA/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.
 27. 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.
 28. Fedorovich AA, Drapkina OM, Pronko KN, et al. Telemonitoring of capillary blood flow in the human skin: new opportunities and prospects. *Clin Pract*. 2018;15(2):561-7. doi:10.4172/clinical-practice.1000390.
 29. Lin S, Li Z, Fu B, et al. Feasibility of using deep learning to detect coronary artery disease based on facial photo. *Eur Heart J*. 2020;41(46):4400-11. doi:10.1093/eurheartj/ehaa640.