

Возможности применения искусственного интеллекта для бесконтактного определения уровня артериального давления по данным плетизмографии кожи лица, полученными с помощью веб-камеры

Королев А.И.¹, Федорович А.А.^{1,2}, Ососков В.С.¹, Челышев Э.А.³, Зейнапур А.А.¹, Драпкина О.М.¹

¹ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины" Минздрава России. Москва, Россия; ²ФГБУ ГНЦ РФ "Институт медико-биологических проблем" РАН. Москва, Россия; ³ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет "Московский энергетический институт" Минобрнауки России. Москва, Россия

Цель. Разработка тестового алгоритма для бесконтактного определения уровня артериального давления (АД) по данным видеоплетизмографии (ВПГ) кожи лица, полученными с помощью веб-камеры.

Материал и методы. С помощью запатентованного специализированного программного обеспечения автоматизации сбора первичных исследовательских данных "Vrgmetrics" сформирован "Датасет" на 1900 испытуемых, который включает данные ВПГ, АД и сведения о наличии хронических неинфекционных заболеваний.

Результаты. Разработан набор прикладных инструментов, нейронная сеть собственной архитектуры. Первые результаты обучения нейронной сети на основе искусственного интеллекта показали среднюю абсолютную ошибку определения систолического АД/диастолического АД — 12,71/7,08 мм рт.ст. и среднюю относительную ошибку для систолического АД/диастолического АД — 10,65/9,47%.

Заключение. Показатели прототипа модели при тестовом обучении искусственного интеллекта продемонстрировали точность оценки уровня АД, которая соответствует целевым ориентирам для прототипа. Определены основные направления для улучшения разрабатываемого алгоритма определения АД по данным ВПГ кожи лица, полученными стандартной веб-камерой.

Ключевые слова: артериальное давление, бесконтактное определение артериального давления, веб-камера, видеоплетизмогра-

фия, машинное обучение, искусственный интеллект, нейронные сети.

Отношения и деятельность. Работа выполнена в рамках Государственного задания Минздрава России № 124013100904-7 "Разработка метода бесконтактного определения уровня артериального давления по данным видеоплетизмографии веб камерой кожи лица".

Поступила 02/03-2026

Рецензия получена 06/03-2026

Принята к публикации 19/03-2026



Для цитирования: Королев А.И., Федорович А.А., Ососков В.С., Челышев Э.А., Зейнапур А.А., Драпкина О.М. Возможности применения искусственного интеллекта для бесконтактного определения уровня артериального давления по данным плетизмографии кожи лица, полученными с помощью веб-камеры. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2026;25(3):4827. doi: 10.15829/1728-8800-2026-4827. EDN: JBIAO

Artificial intelligence for contactless blood pressure estimation based on facial video plethysmography obtained via a webcam

Korolev A.I.¹, Fedorovich A.A.^{1,2}, Ososkov V.S.¹, Chelyshev E.A.³, Zeynapur A.A.¹, Drapkina O.M.¹

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

³National Research University "Moscow Power Engineering Institute". Moscow, Russia

Aim. To develop a test algorithm for contactless blood pressure (BP) estimation based on facial video plethysmography (VPG) obtained via a webcam.

Material and methods. Using Vrgmetrics, a software for automating primary research data collection, a dataset was created for 1900 subjects, including VPG, blood pressure, and non-communicable disease data.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):

e-mail: dr.korolev.andrei@gmail.com

[Королев А.И. — к.м.н., руководитель лаборатории микроциркуляции и регионарного кровообращения отдела фундаментальных и прикладных аспектов ожирения, врач-кардиолог, ORCID: 0000-0001-9830-8959, Федорович А.А. — к.м.н., с.н.с. лаборатории микроциркуляции и регионарного кровообращения отдела фундаментальных и прикладных аспектов ожирения, с.н.с. лаборатории вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы, ORCID: 0000-0001-5140-568X, Ососков В.С. — м.н.с. лаборатории микроциркуляции и регионарного кровообращения, ORCID: 0009-0005-9678-1378, Челышев Э.А. — аспирант, кафедра Вычислительных машин, систем и сетей, ORCID: 0000-0001-8417-8823, Зейнапур А.А. — к.м.н., зав. приемным отделением, ORCID: 0009-0000-3451-4737, Драпкина О.М. — д.м.н., профессор, академик РАН, директор, ORCID: 0000-0002-4453-8430].

Адреса организаций авторов: ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины" Минздрава России, Петроверигский пер., д. 10, стр. 3, Москва, 101990, Россия; ФГБУ ГНЦ РФ "Институт медико-биологических проблем" РАН, Хорошёвское ш., д. 76А, Москва, 123007, Россия; ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет "Московский энергетический институт" Минобрнауки России, Краснозаварменная улица, дом 14, стр. 1, Москва, 111250, Россия.

Addresses of the authors' institutions: National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine of the Ministry of Health of the Russian Federation, Petroverigsky Lane, 10, bld. 3, Moscow, 101990, Russia; Institute for Biomedical Problems, Russian Academy of Sciences, Khoroshyovskoye sh., 76A, Moscow, 123007, Russia; National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Krasnozavarmennaya 14, bld. 1, Moscow, 111250, Russia.

Results. A set of applied tools and a neural network with a proprietary architecture were developed. Initial results from training the artificial neural network showed an average absolute error in determining systolic/diastolic blood pressure of 12,71/7,08 mm Hg and an average relative error for systolic/diastolic blood pressure of 10,65/9,47%.

Conclusion. Performance of the prototype model during artificial intelligence testing demonstrated an accuracy in estimating blood pressure that meets the prototype's target benchmarks. We identified key areas for improving the algorithm developed for determining blood pressure based on facial VPG obtained with a standard webcam.

Keywords: blood pressure, contactless blood pressure measurement, webcam, video plethysmography, machine learning, artificial intelligence, neural networks.

Relationships and Activities. This work was completed within the State Assignment of the Russian Ministry of Healthcare № 124013100904-7 "Development of a Method for Contactless Blood Pressure Measurement Based on Webcam Facial Video Plethysmography".

Korolev A. I.* ORCID: 0000-0001-9830-8959, Fedorovich A. A. ORCID: 0000-0001-5140-568X, Ososkov V. S. ORCID: 0009-0005-9678-1378, Chelyshev E. A. ORCID: 0000-0001-8417-8823, Zeynapur A. A. ORCID: 0009-0000-3451-4737, Drapkina O. M. ORCID: 0000-0002-4453-8430.

*Corresponding author:
dr.korolev.andrei@gmail.com

Received: 02/03-2026

Revision Received: 06/03-2026

Accepted: 19/03-2026

For citation: Korolev A. I., Fedorovich A. A., Ososkov V. S., Chelyshev E. A., Zeynapur A. A., Drapkina O. M. Artificial intelligence for contactless blood pressure estimation based on facial video plethysmography obtained via a webcam. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2026;25(3):4827. doi: 10.15829/1728-8800-2026-4827. EDN: JBIIO

АД — артериальное давление, АГ — артериальная гипертензия, ВПГ — видеоплетизмография, ДАД — диастолическое АД, ИИ — искусственный интеллект, САД — систолическое АД, ХНИЗ — хронические неинфекционные заболевания.

Ключевые моменты

Что известно о предмете исследования?

- Дистанционная видеоплетизмография является перспективным методом для бесконтактного определения уровня артериального давления (АД).

Что добавляют результаты исследования?

- Разработанный алгоритм оценки уровня АД по данным видеоплетизмографии на основе искусственного интеллекта соответствует целевым ориентирам для прототипа.
- Для дальнейшего усовершенствования алгоритма дистанционного измерения АД с помощью веб-камеры необходимо расширение возрастного и нозологического диапазона обучающей группы.

Key messages

What is already known about the subject?

- Remote video plethysmography is a promising method for contactless blood pressure (BP) measurement.

What might this study add?

- The developed algorithm for estimating BP based on artificial intelligence (AI) video plethysmography meets the prototype's performance targets.
- To further improve the algorithm for remote blood pressure measurement using a webcam, the age and clinical range of the training group should be expanded.

Введение

Артериальная гипертензия (АГ) является ведущим модифицируемым фактором риска болезней сердечно-сосудистой системы. Результаты эпидемиологических исследований демонстрируют значительное увеличение распространенности АГ как в общемировой популяции, так и среди населения Российской Федерации, и в настоящее время количество людей, страдающих АГ, приближается к 1,5 млрд [1, 2]. При этом 46% пациентов не знают о наличии заболевания, а у остальных 54% АГ находится под контролем только в 21% случаев. Поскольку АГ зачастую носит бессимптомный характер, регулярное измерение артериального давления (АД) становится важнейшим методом ранней диагностики АГ и начала своевременного лечения. Значимость ранней диагностики АГ была

подтверждена результатами исследования (n=1497 пациентов, длительность наблюдения 15-21 лет), показавшими, что значения АД на ранних стадиях развития заболевания лучше предсказывают риск сердечно-сосудистых осложнений, чем показатели АД на более поздних стадиях патологии [3].

Все имеющиеся свидетельства того, что АГ является ведущим фактором риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, cerebrovasкулярных болезней и поражения почек, вносит существенный вклад в структуру инвалидизации и смертности, а также данные о пользе антигипертензивной терапии были основаны на результатах измерения АД посредством плечевой манжеты. Именно поэтому измерение АД данным методом рекомендуется для офисного, домашнего и амбулаторного контроля в клинической практике, а также служит

эталонном для оценки новых технологий измерения АД [4].

Однако эталонный манжеточный метод измерения АД требует наличия тонометра, правильно подобранного размера манжеты, оголения плеча, неподвижного состояния во время измерения и других особенностей, что делает его не всегда доступным, и более того, неудобным для непрерывного мониторинга уровня АД. А непрерывный мониторинг АД во многих случаях может не просто оказаться полезным для конкретного человека, но и предотвратить развитие опасных и социально значимых ситуаций среди людей профессий с повышенной социальной ответственностью, таких как водители, летчики, авиадиспетчеры и др.

Одним из перспективных методов для бесконтактной оценки уровня АД является видеопле-тизмोगрафия (ВППГ), или дистанционная фотопле-тизмोगрафия (англ. remote photoplethysmography), которая заключается в получении световой информации, отраженной от лица человека и зафиксированной оптическими датчиками видеозаписывающего устройства (веб-камера смартфона, ноутбука и др.), и ее анализе с помощью методов машинного обучения для оценки изменений в микроциркуляторном кровотоке кожи лица [5]. Хотя ВППГ в настоящее время не может рассматриваться в качестве метода точного определения АД, она может использоваться для его приблизительной оценки, в т.ч. в качестве массового скрининга населения для определения вероятности наличия АГ и показаний к проведению дальнейшего исследования для подтверждения/исключения болезни.

К настоящему времени предложено несколько алгоритмов оценки уровня АД методом ВППГ кожи лица, разработанных с применением методов глубокого машинного обучения и технологий искусственного интеллекта (ИИ). Так, Chen Y, et al. [6] на тестовой выборке в 132 человека разработали архитектуру ИИ для решения задачи восстановления регрессии уровня АД, которая продемонстрировала среднюю абсолютную ошибку (Mean Absolute Error, MAE) определения систолического (САД) и диастолического АД (ДАД) — 12,35/9,54 мм рт.ст. Коллективом авторов во главе с Curran T [7] на данных 143 испытуемых была создана гибридная модель для определения САД, сочетающая в себе блоки анализа сигнала ВППГ и общих сведений о пациенте. Разработанная нейронная сеть показала MAE для САД в 11,35 мм рт.ст. Группой исследователей под руководством Tan SYL [8] на выборке в 200 человек был разработан алгоритм с использованием искусственной нейронной сети U-Net, который продемонстрировал среднюю абсолютную процентную ошибку (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) определения САД и ДАД в 9,52 и 7,52%, соответственно. В работе Kim S, et

al. [9] с использованием нейронной сети U-Net и трансферного обучения на основании данных 17 испытуемых (7800 сегментов по 5 сек) представили алгоритм, показавший MAE определения САД/ДАД — 6,9/4,43 мм рт.ст.

Таким образом, результаты опубликованных работ демонстрируют возможность оценки уровня АД методами интеллектуального анализа данных и машинного обучения на основе данных ВППГ лица, полученных с помощью веб-камеры с приемлемой точностью, и подтверждают практическую перспективность данного метода.

Цель работы — разработка алгоритма оценки АД по данным ВППГ кожи лица, полученными с помощью веб-камеры, на основе комбинированного подхода, сочетающего метод подготовки данных, основанный на непрерывном вейвлет-преобразовании, и сверточную нейронную сеть.

Материал и методы

Исследование проводили на добровольцах, поступающих на стационарное лечение в ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины" Минздрава России. Исследование выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (GCP) и принципами Хельсинкской декларации. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом (протокол № 01-05/24 от 30.01.2024). Все испытуемые дали письменное согласие на участие в исследовании.

В исследовании использовали размеченный набор данных ВППГ (Датасет), который включает видеозаписи кожи лица 1900 уникальных участников и сведений о наличии у них хронических неинфекционных заболеваний (ХНИЗ): 1) АГ; 2) ишемическая болезнь сердца или постинфарктный кардиосклероз; 3) хроническая сердечная недостаточность; 4) нарушения ритма и проводимости сердца; 5) цереброваскулярная болезнь; 6) хроническая ишемия нижних конечностей; 7) хронические обструктивные заболевания легких; 8) сахарный диабет 1 и 2 типа; 9) системные заболевания соединительной ткани; 10) заболевания желудочно-кишечного тракта; 11) заболевания мочеполовой системы. Также учитывали прием фармпрепаратов по поводу конкретного ХНИЗ на момент исследования по методу — да/нет (+/-).

Поскольку исследование проводится в условиях стационара, из всего массива испытуемых, которые вошли в Датасет, только 266 (14%) человек оказались условно здоровыми; 247 (13%) человек имели одно заболевание; почти три четверти испытуемых являлись коморбидными пациентами, которые на момент исследования принимали фармпрепараты на постоянной основе по поводу различных ХНИЗ; а медиана возраста испытуемых составила 61 [44; 69] год. Это отличает формируемый Датасет от иных массивов данных, которые использовались для разработки алгоритмов оценки уровня АД методом ВППГ [6-9], и является его значимой характеристикой, поскольку возраст и коморбидный статус могут оказывать значимое влияние на микрососудистый кровоток кожи лица, изменения которого могут вносить существенный вклад в конечный результат исследования.

После подписания информированного согласия одновременно измеряли АД на обеих руках двумя автоматическими тонометрами "Microlife BP A6 PC" для исключения окклюзионно-стенотического поражения магистральных артерий верхних конечностей. После 2-мин паузы, на протяжении которой в базу данных вносили данные о ХНИЗ, осуществляли одновременную регистрацию уровня АД на левом плече автоматическим тонометром и запись видеопотока с кожи лица.

Видеозапись кожи лица проводили в положении пациента сидя на стуле, руки располагались на столе (рисунок 1). В процессе видеозаписи испытуемым на мониторе компьютера демонстрировали релаксирующее видео со звуками природы. Регистрацию видеопотока с кожи лица проводили видеокамерой ELP-USB4KHDR01-MFV (4 МП, частота дискретизации 30 Гц) с варифокальным объективом 5-50 мм (ELP, Shenzhen, Китай), закрепленной на штативе. Камеру располагали на уровне лица на расстоянии 60 см. В качестве источника света, направленного на лицо, использовали установленную за видеокамерой кольцевидную светодиодную лампу диаметром 26 см Smartbuy SBL-TTL-10 (Smartbuy, Taiwan) со световой температурой 5500K.

Набор Датасета проводили с использованием разработанного и запатентованного специализированного программного обеспечения автоматизации сбора первичных исследовательских данных "Vpgmetrics"¹. Из каждой полученной видеозаписи извлекали фрагмент длительностью 45 сек., который соответствовал началу измерения АД автоматическим тонометром. Дальнейшая предварительная обработка данных включала выделение региона интереса (рисунок 2 А), расчет пространственного среднего значения по трем цветовым каналам RGB, частотную фильтрацию и непрерывное вейвлет-

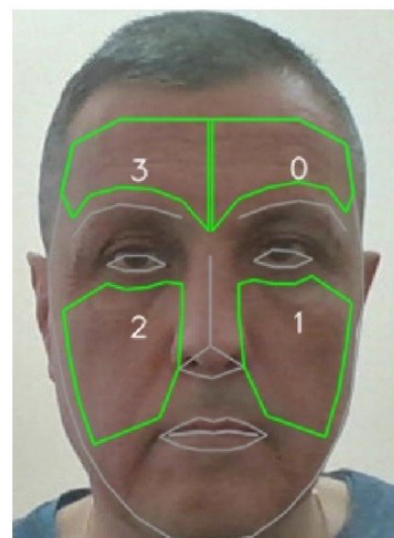
преобразование. Для выделения региона интереса на лице человека, использовали нейросетевую модель YuNet.

Выделение различных регионов кожи лица основано на особенностях кровоснабжения. Кожа лба кровоснабжается конечными ветвями глазничных артерий, которые входят в систему внутренних сонных артерий (рисунок 2 Б), кровоснабжающих головной мозг, который является одним из основных органов-мишеней при АГ.

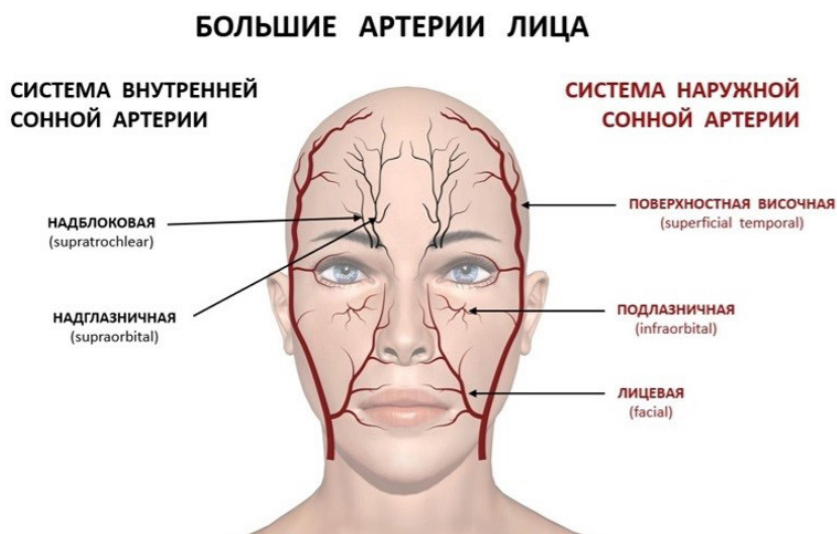
Затем на каждом кадре видеопоследовательности для каждого региона интереса вычисляли пространственные средние интенсивности 3-х каналов цветовой модели RGB (Red, Green, Blue) цифровых видеокамер, т.е. для



Рис. 1 Методология проведения исследования.



А



Б

Рис. 2 Регионы интереса при ВПГ: А — кожа лба (зоны 0 и 3) и кожа щек (зоны 1 и 2); Б — сосудистая анатомия кровоснабжения кожи лица.

Таблица 1

Значения метрик, достигнутые на тестовой выборке с 95% ДИ

АД	MAE, мм рт.ст.	RMSE, мм рт.ст.	MAPE, %
САД	12,71 (11,91-13,51)	15,5 (14,5-16,5)	10,65 (10,1-11,35)
ДАД	7,08 (6,68-7,58)	8,52 (7,82-9,33)	9,47 (8,75-10,06)

Примечание: АД — артериальное давление, ДАД — диастолическое АД, САД — систолическое АД, MAE — Mean Absolute Error (средняя абсолютная ошибка), RMSE — Root Mean Square Error (среднеквадратичная ошибка), MAPE — Mean Absolute Percentage Error (средняя абсолютная процентная ошибка).

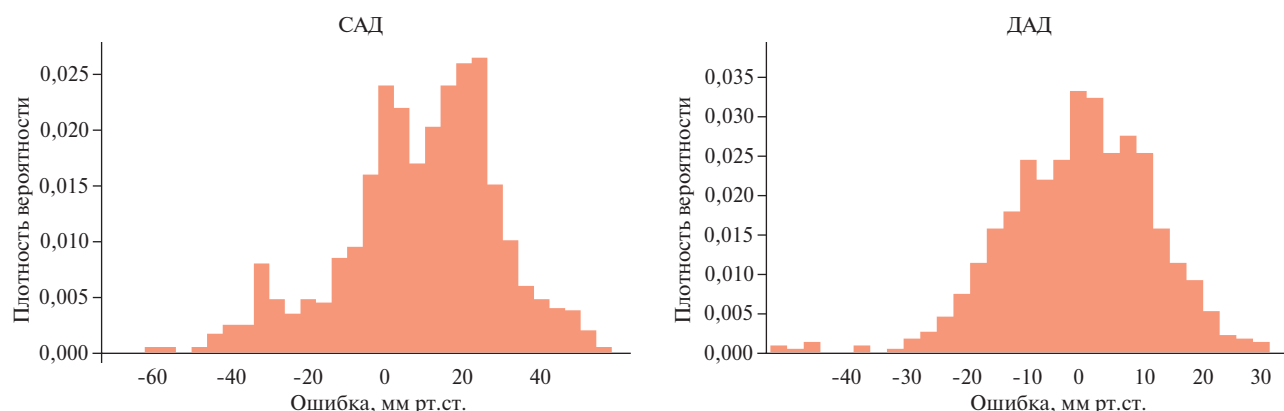


Рис. 3 Вероятность ошибки предсказания уровня АД по данным ВПГ. Примечание: ДАД — диастолическое АД, САД — систолическое АД.

красного, зеленого и синего цветов, соответственно. Таким образом, было сформировано 12 временных рядов (3 цветовых канала для 4 регионов).

Для получения частотно-временной картины колебаний кровотока в 4-х выбранных регионах было применено непрерывное вейвлет-преобразование. Выбор непрерывного вейвлет-преобразования обосновывается нестационарностью колебательных процессов микроциркуляторного кровотока в коже лица.

В качестве целевой переменной использовали метки САД и ДАД, измеренные в ходе набора данных автоматическим тонометром. Мы сформулировали задачу оценки АД как задачу восстановления регрессии по двум целевым переменным.

Для осуществления интеллектуального анализа данных и восстановления регрессии была спроектирована и обучена сверточная нейронная сеть, которая включает в себя экстрактор признаков и регрессионную модель. Экстрактор признаков реализован в виде последовательной модели, содержащей три сверточных слоя с возрастающей размерностью карт признаков, за счет чего обеспечивается извлечение признаков различного уровня абстракции. Регрессионный модуль предназначен для преобразования выделенных при помощи экстрактора признаков в выходные числовые значения предсказанного САД и ДАД.

Результаты

Для разработанной модели ИИ при длительности окна анализа в 45 сек мы получили значения метрик, которые представлены в таблице 1. В скобках указаны границы 95% доверительного интервала (ДИ), вычисленные методом бутстрепа с 1000 повторений.

Помимо значений метрик важным этапом определения качества модели является оценка относительной частоты ошибок различной величины. Для этой цели для каждого элемента тестовой выборки для САД и ДАД в отдельности была вычислена величина ошибки оценки уровня АД, которая представлена на рисунке 3 в виде гистограммы плотности вероятности ошибок различного размера для САД и ДАД.

Обсуждение

Разработанная нами модель ИИ для оценки уровня АД по данным ВПГ показала точность определения уровня АД, которое соответствует целевым ориентирам для прототипа. Полученные результаты оказались несколько хуже данных работ зарубежных аналогов [6-9], но здесь стоит обратить внимание на то, что в каждой из работ зарубежных коллег использовался свой набор данных ВПГ как по количеству испытуемых, так и по нозологиям.

В настоящем исследовании, с учетом специфики набора данных, основной массив Датасета представляют испытуемые >60 лет из которых ~75% являются коморбидными пациентами с длительным анамнезом заболеваний и сопутствующей фармакологической нагрузкой на момент исследования, что можно считать существенным ограничением исследования. Тем не менее, несмотря на упомянутые ограничения исследования, реализованный нами подход к анализу данных ВПГ для прогнозирования уровня АД свидетельствует о перспективности дальнейших исследований в данном направлении.

Заключение

Разрабатываемый нами метод бесконтактного определения уровня АД по данным ВПГ кожи лица, полученным с помощью стандартной веб-камеры не может претендовать на место экспертного класса для определения АД. Однако, учитывая широкое распространение и доступность веб-камер в современных условиях, можно полагать, что данный подход к непрерывному мониторингу уровня АД, с использованием принципа "светофора", может мотивировать людей к периодическому контролю АД стандартными приборами.

По мере увеличения набираемых объемов данных (Датасет) в широком возрастном и нозологическом диапазоне, совершенствовании архитектуры нейронных сетей и алгоритмов анализа данных, величина ошибок определения уровня АД будет снижаться.

Отношения и деятельность. Работа выполнена в рамках Государственного задания Минздрава России № 124013100904-7 "Разработка метода бесконтактного определения уровня артериального давления по данным видеоплетизмографии веб камерой кожи лица".

Литература/References

1. Zhou B, Carrillo-Larso RM, Danaei G, et al. NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC). Worldwide trends in hypertension prevalence and progress in treatment and control from 1990 to 2019: a pooled analysis of 1,201 population representative studies with 104 million participants. *Lancet*. 2021;398(10304): 957-80. doi:10.1016/S0140-6736(21)01330-1.
2. Balanova YuA, Shalnova SA, Imaeva AE, et al. Prevalence, Awareness, Treatment and Control of Hypertension in Russian Federation (Data of Observational ESSERF-2 Study). *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2019;15(4):450-66. (In Russ.) Баланова Ю.А., Шальнова С.А., Имаева А.Э. и др. Распространенность артериальной гипертонии, охват лечением и его эффективность в Российской Федерации (данные наблюдательного исследования ЭССЕ-РФ-2). *Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии*. 2019;15(4):450-66. doi:10.20996/1819-6446-2019-15-4-450-466.
3. Leihner A, Brozek W, Muendlein A, et al. The value of earlier-in-life systolic and diastolic blood pressure for cardiovascular risk prediction. *iScience*. 2024;27(3):109097. doi:10.1016/j.isci.2024.109097.
4. Stergiou GS, Palatini P, Parati G, et al. 2021 European Society of Hypertension practice guidelines for office and out-of-office blood pressure measurement. *J Hypertens*. 2021;39(7):1293-302. doi:10.1097/HJH.0000000000002843.
5. Fedorovich AA, Korolev AI, Ososkov VS, et al. New trends in non-invasive study of human skin microcirculation. A descriptive review. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2025;24(6):4412. (In Russ.) Федорович А.А., Королёв А.И., Ососков В.С. и др. Новые тренды развития направления по неинвазивному исследованию микроциркуляции в коже человека. Описательный обзор. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2025;24(6):4412. doi:10.15829/1728-8800-2025-4412. EDN: XFFGNI.
6. Chen Y, Zhuang J, Li B, et al. Remote blood pressure estimation via the spatiotemporal mapping of facial videos. *Sensors*. 2023;23(6):2963. doi:10.3390/s23062963.
7. Curran T, Ma C, Liu X, et al. Estimating Blood Pressure with a Camera: An Exploratory Study of Ambulatory Patients with Cardiovascular Disease. *Archive*. 2025;2503.00890v1. doi:10.48550/arXiv.2503.00890.
8. Tan SYL, Chai JX, Choi M, et al. Remote Photoplethysmography Technology for Blood Pressure and Hemoglobin Level Assessment in the Preoperative Assessment Setting: Algorithm Development Study. *JMIR Form Res*. 2025;9:e60455. doi:10.2196/60455.
9. Kim S, Lim H, Baek J, et al. RGB Camera-Based Blood Pressure Measurement Using U-NetBasic Generative Model. *Electronics*. 2023;12(18):3771. doi:10.3390/electronics12183771.