

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-4-14-22>

Применение цифровых технологий в неврологии

Литературный обзор

Е.В. Бриль^{1,2,3}, Н.А. Федотова^{1,2}, О.С. Зимняков^{1,2}, А.И. Шадеркина^{4,5}

¹ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России; д. 23, ул. Маршала Новикова, Москва, 123098, Россия

² Кафедра неврологии с курсом нейрохирургии. Медико-биологический университет инноваций и непрерывного образования ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России; д.46, стр.8, Живописная ул., Москва, 123098, Россия

³ ФГБОУ ДПО РМАНПО МЗ РФ; стр. 1, д. 2/1, ул. Баррикадная, Москва, 125993, Россия

⁴ Научно-практический центр детской психоневрологии Департамента здравоохранения города Москвы; д. 74, Мичуринский пр-т, г. Москва, 119602, Россия

⁵ ФГБНУ «Федеральный научный центр психологических и междисциплинарных исследований»; д.9 стр.4, Моховая ул., Москва, 125009, Россия

Контакт: Федотова Наталья Александровна, natali181087@mail.ru

Аннотация:

Цифровые технологии (ЦТ) являются наиболее быстро развивающейся областью, имеющей большое значение для здравоохранения. В неврологии ЦТ могут обеспечить лучшую доступность в консультациях, расширить потенциал различных диагностических и терапевтических инструментов и систем. Например, телемедицина позволяет расширить доступ к оказанию услуг, преодолевая географические барьеры, тем самым предоставляет возможность оказания медицинской помощи не только пациентам, но и их родственникам. Широкое внедрение элементов искусственного интеллекта в рутинную практику врача-невролога помогает принимать решения по постановке диагноза, лечению, оценке развития и прогноза различных неврологических заболеваний. В данной статье описаны цифровые медицинские технологии для оказания помощи при нейродегенеративных, демиелинизирующих заболеваниях, деменциях, а также при инсультах и эпилепсии.

Ключевые слова: цифровые технологии; телемедицинские технологии; искусственный интеллект; машинное обучение; глубокой обучение.

Для цитирования: Бриль Е.В., Федотова Н.А., Зимнякова О.С., Шадеркина А.И. Применение цифровых технологий в неврологии. Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения 2023;9(4):14-22; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-4-14-22>

Application of digital technologies in neurology

Literature review

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-4-14-22>

E.V. Bril^{1,2,3}, N.A. Fedotova^{1,2}, O.S. Zimnyakova^{1,2}, A.I. Shaderkina^{4,5}

¹ A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center; 23, st. Marshala Novikova, 236 Moscow, 123098, Russia

² Biomedical University of Innovations and Continuing Education FMBC A.I. Burnazyan FMBA of Russia, Department of Neurology with a course of neurosurgery; 46, building 8, Zhivopisnaya st., Moscow, 123098, Russia

³ Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education "Russian Medical Academy of Continuous Professional Education" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation

⁴ Scientific and Practical Center for Pediatric Psychoneurology of the Moscow Department of Health; 74, Michurinsky Ave., Moscow, 119602, Russia

⁵ Federal State Budgetary Institution "Federal Scientific Center for Psychological and Interdisciplinary Research"; 9 building 4, Mokhovaya st., Moscow, 125009, Russia

Contact: Natalia A. Fedotova, natali181087@mail.ru

Abstract:

Digital technology is the fastest growing area with major implications for healthcare. In neurology, this can provide better accessibility in consultations, expanding the potential of various diagnostic and therapeutic tools and systems. For example, telemedicine allows expanding access to services, overcoming geographical barriers, thereby providing the opportunity to provide medical care not only to patients, but also to their relatives. The widespread introduction of artificial intelligence elements into the routine practice of a neurologist helps make decisions on diagnosis, treatment, assessment of development and prognosis of various neurological diseases. This article describes digital health technologies for providing care for neurodegenerative diseases, demyelinating diseases, dementia, stroke and epilepsy.

Key words: digital technologies; telemedicine technologies; artificial intelligence; machine learning; deep learning.

For citation: Bril E.V., Fedotova N.A., Zimnyakova O.S., Shaderkina A.I. Application of digital technologies in neurology. Russian Journal of Telemedicine and E-Health 2023;9(4):14-22; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-4-14-22>

■ ВВЕДЕНИЕ

Цифровые технологии в мире являются одним из главных направлений в технологическом прогрессе. Они постепенно охватывают все сферы жизнедеятельности и самые разные области науки, в том числе и медицину.

Создание эффективной и качественной цифровой инфраструктуры в здравоохранении – это важнейшее направление развития интернет-технологий на всех уровнях информационного медицинского пространства, формирующих динамическую сеть коммуникаций [1].

Неврологические заболевания имеют широкий спектр расстройств. А врачу-неврологу приходится сталкиваться с множеством проблем в области диагностики и выбора тактики лечения, в том числе в ограниченные сроки, а также заниматься профилактикой прогрессирования многих хронических неврологических заболеваний. Более того, с увеличением численности населения увеличивается рост самых распространенных нейродегенеративных заболеваний, таких как болезнь Паркинсона (БП) и болезнь Альцгеймера (БА) [2, 3]. Таким образом, внедрение медицинских цифровых технологий может обеспечить лучшую доступность в консультациях, расширить потенциал различных диагностических и терапевтических инструментов и систем.

■ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Телемедицина признается в мире инновационной медицинской услугой, которая позволяет преодолеть географические расстояния и направлена на уравнивание доступа к медицинской помощи с использованием информационно-коммуникационных технологий, обеспечивая безопасную передачу и совместное использование медицинских данных и информации для мониторинга и контроля клинического состояния [4]. Так, телемедицина предоставляет возможность людям из сельских и отдаленных регионов получить высококачественные консультации, в то время как аптечные онлайн-платформы позволяют получить необходимые лекарства без лишних поездок [5, 6]. Более того, телемедицина стала очень востребованной из-за недавней пандемии Covid-19. Быстрое распространение инфекционного заболевания по всем странам стимулировало необходимость поиска решений для профилактики, локализации и лечения пациентов не только с Covid-19, но и с другими патологиями [7]. Так, использование данных технологий приобрело широкое распространение у пациентов с хроническими неврологическими заболеваниями. Например, телемедицина при нейродегенеративных заболеваниях является ценным инструментом ►►

для пациентов и лиц, осуществляющих уход за ними [8].

В случае с БП телемедицина может использоваться для реабилитационной терапии, для проведения когнитивных тестов и для поддержки лиц, осуществляющих уход [9]. Наиболее легко распознаваемыми признаками БП являются двигательные особенности, включая тремор и брадикинезию, которые можно визуализировать при онлайн-приеме. Проведение стандартных медицинских обследований, включая унифицированную шкалу оценки болезни Паркинсона (MDS UPDRS), возможно с помощью телемедицины при условии, что качество видео удовлетворительное [10]. Однако некоторые практические элементы, такие как тестирование на ригидность и нестабильность осанки, не могут быть выполнены, а большая часть обследований, включая походку, может быть оценена при наличии достаточного пространства. Когнитивные тесты, в частности Монреальская когнитивная шкала (MoCA) также может проводиться дистанционно [11, 12]. Наконец, диагноз БП и атипичных паркинсонических синдромов может быть подтвержден с помощью телемедицины [13, 14].

В недавнем национальном онлайн-опросе 7781 человека с БП 76% указали на высокий интерес к телемедицине. Было доказано, что данная технология позволяет пациентам с БП экономить время, деньги и преодолевать барьер в виде расстояния [8].

Телемедицина может облегчить ведение расширенной терапии. Последующее наблюдение после процедур глубокой стимуляции мозга (DBS) и инфузии кишечного геля леводопы, которые нередко требуют частых посещений клиники для корректировки, может стать значительной нагрузкой для пациентов и лиц, осуществляющих уход, особенно в отдаленных районах [15]. Ретроспективное исследование оценило виртуальную помощь 41 пациенту с болезнью Паркинсона и DBS в телемедицинской сети Онтарио и продемонстрировало, что телемедицина в этой сфере как осуществима, так и полезна, особенно для снижения бремени поездок и затрат [16].

Необходимо отметить, что будущим и важным направлением в сфере телемедицинских технологий являются исследования, направленные

на преодоления ограничения 2D-телемедицины. Так, Sekimoto. S. и соавторы предложили использовать новую концепцию «голомедицины» – интерактивной телемедицины на основе 3D- голограмм, которая состоит из датчиков камеры глубины RGB (Kinect v2; Microsoft, Redmond, WA, USA), фиксирующих движения человека с помощью инфракрасного света, и дисплея, устанавливаемого на голове пациента, с голограммным монитором для проверки оцифрованных в 3D данных человека (HoloLens; Корпорация Microsoft) [17]. Система на стороне пациента фиксировала его форму и отправляла эти данные в виде оцифрованного в 3D изображения врачу через беспроводную сеть. Система на стороне врача получала данные от системы на стороне пациента и воспроизводила трехмерную цифровую форму пациента практически в режиме реального времени с использованием одноранговой сети, и наоборот. Этот медицинский визит в смешанной реальности может привести к эволюционному изменению традиционного приема в больнице, поскольку он приближен к очному посещению. В предварительном исследовании подтвердили возможность оценки двигательных показателей с помощью 3D-телемедицины в общей сложности у 100 пациентов с БП. Однако оценка ригидности и нестабильности осанки по-прежнему остаются невозможны [17].

Телемедицинские технологии дают лучшее понимание домашней обстановки пациента и сокращают количество нарушений в расписании его дня. Исследования показали, что телемедицина применима среди пациентов с БА и лиц, осуществляющих уход, и позволяет дистанционно проводить нейропсихологические тесты, тем самым обеспечивать диагностическую точность, сравнимую с очными визитами [18, 19]. В недавних публикациях о клиниках телемедицинской деменции общая удовлетворенность варьировалась от 88%-98% для пациентов и 91-98% для лиц, осуществляющих уход [20, 21].

Междисциплинарный подход, используемый в настоящее время для пациентов с боковым амиотрофическим склерозом (БАС), также может быть частично воспроизведен с помощью телемедицинских технологий. Так, исследования показали, что использование телемедицины параллельно с телемониторингом для контроля

клинических параметров снижает использование медицинских услуг и госпитализации с благоприятными последствиями для затрат и функционального статуса [22, 23].

Не смотря на то, что телемедицинские технологии становятся все более востребованы, тем не менее, барьеры для доступа к данным услугам, особенно на дому, сохраняются. Главной жалобой пациентов и поставщиков медицинских услуг в этих исследованиях было качество видеосвязи [8, 24]. А немалая часть жителей вовсе не имеет доступа к интернету [8].

Также необходимо учитывать некоторые исследования, которые показывают неизменно низкие показатели ответов (37-46%) на опросы удовлетворенности после онлайн-посещения, что дают основание полагать о возможной переоцененной удовлетворенности данной услугой [8, 25, 26]. Более того, часть исследований показывают, что врачи менее удовлетворены телемедициной, чем пациенты [8].

В целом, телемедицина предоставляет возможность оказания медицинской помощи от первичной до специализированной, помогая не только пациентам, но и их родственникам. Это позволяет расширить доступ к оказанию услуг, преодолевая географические барьеры.

■ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Сегодня неврология сталкивается с множеством проблем в области диагностических, терапевтических и реабилитационных моментов. Искусственный интеллект (ИИ) привлек большое внимание в решении данных вопросов.

Термин ИИ используется для описания «машин», способных продемонстрировать когнитивные функции, уровень которых сравнивают с человеческим умом.

В ИИ есть два основных подхода: машинное обучение (МО) и глубокое обучение (ГО). МО используется для анализа данных и последующего обучения на их основе, и затем принятия решений, тогда как ГО обучается и принимает решения с помощью слоев искусственных нейронных сетей [27]. ГО – это подкласс методов МО, и обычно используется для крупномасштабных наборов данных. Для небольших наборов данных предпочтительны методы МО. Кроме того, МО использует созданные вручную

функции (полученные с помощью многочисленных алгоритмов на основе информации, существующей в самом изображении) для обучения и принятия решений, тогда как методы ГО могут изучать функции независимо и принимать решения о точной настройке в соответствии с входными данными [28]. МО/ГО может быть контролируемым, полуконтролируемым и неконтролируемым. Глубокое обучение является ведущим направлением большинства инструментов ИИ для интерпретации изображений, используя различные алгоритмы.

Системы машинного обучения в настоящее время применяются для диагностики и классификации нейродегенеративных, демиелинизирующих заболеваний, эпилепсии, различных видов деменции, для помощи в диагностике и индивидуальном выборе лечения при остром ишемическом инсульте и др. неврологических заболеваниях [29, 30].

При многих нейродегенеративных заболеваниях симптомы не проявляются до тех пор, пока не произойдет существенная потеря нейронов, что делает раннюю диагностику очень сложной. Поэтому исследования по применению моделей машинного обучения для ранней диагностики растут. Так, например, нами совместно со Сколковским институтом науки и технологий ведутся работы в этой области, как пример, разработка системы второго мнения в диагностике БП и эссенциального тремора с использованием методов машинного обучения [31-33].

Использование машинного обучения для обнаружения прогностических сигналов в данных, которые могут быть собраны относительно легко (электронные медицинские записи или данные МРТ), может обеспечить перспективный скрининг стареющих групп населения. Автоматизированная диагностика на основе машинного обучения также может выделить людей для дальнейшего клинического исследования. Важно отметить, что исторические медицинские записи предоставляют полезный набор обучающих данных для алгоритмов прогнозирования, так как они могут охватывать весь период заболевания [34].

При БП хорошо себя зарекомендовали использование сенсорных систем на основе машинного обучения, такое как Parkinson's ►

KinettiGraph и Kinesiasystem, предназначенные для оценки дискинезии и брадикинезии. KinettiGraph можно носить на запястье и измерять ускорение запястья [35]. Kinesiasystem носится либо на палец, либо на запястье и обнаруживает движение с помощью встроенного акселерометра и гироскопа. Обе системы обеспечивают автоматическую оценку двигательных симптомов индивида, но выходные данные также могут быть дополнительно проанализированы с помощью алгоритмов машинного обучения, таких как Support Vector Machine (SVM) [34]. Передовые алгоритмы также были применены в разработке новых систем диагностики и оценки, которые основаны на движении нижних конечностей. Исследовательские группы работают над оптимальными алгоритмами для точной диагностики БП, внедряя датчики помещенные в стельки обуви или сенсорные дорожки, а внутренние датчики – в нижние конечности, туловище или интегрированные в умную обувь [34, 36]. Исследования продемонстрировали, что простые носимые приборы в комбинации с алгоритмами контролируемого машинного обучения могут обеспечить значительную диагностическую поддержку и различать пациентов с БП от здоровых субъектов с точностью выше 90%. А анализ функции походки с использованием искусственной нейронной сети оказался самым успешным алгоритмом для ранней диагностики, сообщая о точности выше 95%. Это особенно важно, поскольку на ранних стадиях заболевания двигательные симптомы не видны четко, а при отложенной диагностике прогрессирование заболевания неизбежно. Также получены высокоточные повторные результаты для выявления двигательных симптомов, стадии и тяжести заболевания [37].

Нейровизуализация, в частности КТ и МРТ, широко используется при диагностике неврологических заболеваний, и радиология была одной из первых областей, выигравших от компьютеризации медицины и внедрения «интеллектуальных машин». Методы машинного обучения полезны для постановки объективных диагнозов на основе изображений и часто превосходят производительность обученных специалистов с точки зрения скорости и точности [38].

Компьютерные системы диагностики могут быть дополнены и оснащены методами контро-

лируемого обучения для дальнейшего улучшения интерпретации данных нейровизуализации и помощи в выявлении тонких отклонений в изображениях, которые не обнаружены радиологами. Так, некоторые исследования использовали CNN для прогнозирования диагноза БА и для изучения нормального старения из МРТ и ПЭТ-изображений, иногда наряду с другими клиническими показаниями (например, биомаркерная информация и оценки двигательных или когнитивных показателей) для повышения специфичности [39, 40]. Алгоритмы машинного обучения SVM также использовались для анализа данных МРТ, иногда сочетая структурную и функциональную МРТ, а также данные когнитивной оценки для улучшения диагностики заболеваний. Например, в одном исследовании использовалась SVM для различия между структурными МРТ-сканированиями от лиц с разной тяжестью БА и когнитивно нормальными пожилыми людьми, а также для различия между людьми с БА и лицами с лобно-височной деменцией [41]. В другом исследовании структурных данных МРТ SVM смогла предсказать преобразование от умеренных когнитивных нарушений в БА [42].

В настоящее время существуют успешные попытки применить все возможности систем ИИ для оценки данных нейровизуализации при ОНМК. В частности, для определения времени начала заболевания, сегментации поражения, анализа наличия и возможности возникновения отека мозга, а также для прогнозирования осложнений и результатов лечения.

Для решения проблемы тактики терапии инсульта К. С. Но и соавт. разработали алгоритм глубокого обучения, основанный на архитектуре автокодера, для извлечения признаков визуализации из изображений МР-перфузии (PWI) и определения времени, прошедшего с момента начала инсульта [43].

L. Chen и соавт. на основе данных 741 пациента и модели глубокого обучения, включавшей две нейронные сети, разработали алгоритм сегментации поражений головного при инсульте с помощью DWI-изображений [44]. Измерение перфузионно-диффузионного несоответствия и расчет вероятности формирования зоны ядра инфаркта с использованием подходов на основе МРТ для оценки тканей, подверженных

рису, могут применяться при принятии решений о методе лечения инсульта. Часть исследований продемонстрировали высокую способность прогностической оценки геморрагической трансформации, как осложнение реперфузионной терапии инсульта. Так, в многоцентровом ретроспективном исследовании учеными были собраны данные МР-перфузионных изображений у 263 пациентов из четырех медицинских центров, которые служили входными данными для линейных и нелинейных прогностических моделей со средней точностью >85% при прогнозировании ИИ [45]. Несколько исследований показали, что алгоритмы машинного обучения на основе МРТ изображений с использованием шкал (Modified Rankin scale – mRS) и дополнительных параметров (объем инфаркта, NIHSS при поступлении и возраст пациента) также могут помочь и в прогнозировании двигательных нарушений у пациентов с инсультом [30].

Также решающее значение имеют данные МРТ и для постановки диагноза рассеянного склероза (РС), которые позволяют выявить диссеминацию заболевания во времени и пространстве, а также исключить другие заболевания, способные имитировать клинические и лабораторные проявления РС. МР-критерии оценки РС основаны на обнаружении очагов поражения белого вещества головного мозга, которые имеют типичную морфологию, тип распространения и эволюцию. Наибольшую сложность для постановки диагноза и своевременного начала терапии РС представляет дифференциальная диагностика РС с другими поражениями белого вещества головного мозга, такими как мигрень, болезнь мелких сосудов, васкулиты, синдром Сусака, заболевания спектра оптикомиелита и MOG-ассоциированные демиелинизирующие заболевания. В настоящий момент ведется поиск нейровизуализационных признаков, которые могли бы помочь в данных вопросах. Так, в недавних исследованиях выявлено, что для пациентов с РС характерно наличие вены в центре пораженного белого вещества. Согласно исследованиям, у 80% пациентов с РС в центре «свежих» очагов, накапливающих контраст, на высокопольных МРТ отмечалось наличие вены [46]. Кроме того, у пациентов с РС на высокопольных и сверх-высокопольных МРТ

выявляется гипоинтенсивный парамагнетический ободок вокруг хронических очагов, связанный с накоплением железа, который отсутствует вокруг очагов при других заболеваниях, сопровождающихся поражением белого вещества [47]. Обнаружение вышеуказанных нейровизуализационных изменений обладает высокой специфичностью и чувствительностью, однако зачастую находится за пределами человеческого восприятия. В связи с этим в настоящий момент разрабатываются алгоритмы искусственного интеллекта, которые, во-первых, позволяют выявлять диссеминацию очагов РС как в пространстве, так и во времени, с высокой точностью регистрируя эволюцию очагов, и, во-вторых, позволяют выявлять нейровизуализационные признаки, отличающие РС от заболеваний его имитирующих. Например, исследование S. Wang и соавт., посвященное идентификации рассеянного склероза, было выполнено на основе структуры сверточной сети с высокой точностью диагностики [48, 49].

На развитие технологий ИИ возлагает большие надежды самое распространенное заболевание в неврологии – эпилепсия. Наиболее грозной особенностью которой является непредсказуемость возникновения приступов, сопровождающиеся потерей сознания и высокими рисками травматизации, а также развитием синдрома внезапной смерти [50].

В настоящий момент разрабатываются программы, позволяющие ускорять процесс расшифровки данных ЭЭГ, фиксировать приступы в режиме реального времени, а также предсказывать развитие приступа [51, 52]. Так, Daoud и соавт. разработали компьютерную модель, позволяющую в режиме ЭЭГ-мониторинга, предсказать развитие приступа за час до его появления с точностью 99,6% [51]. Важным направлением является разработка и внедрение Умных браслетов для пациентов с эпилепсией. На основании сигналов от датчиков (гироскопа, датчика активности симпатической нервной системы, акселерометра и датчика температуры) пациент и его родственники быстро получают информацию о первых симптомах разворачивающегося приступа, чтобы оказать своевременную помощь [53]. Кроме того, постоянный мониторинг приступов позволяет вести точный подсчет их количества, давая врачу ►►

объективную информацию, необходимую для коррекции терапии и правильного ведения пациента [54].

Искусственный Интеллект открывает возможности изучения эпилептогенеза. Традиционно использовались модели животных, однако в настоящий момент с помощью технологий мы можем интегрировать мультимодальные данные нейровизуализации и ЭЭГ для разработки модели «эпилептического мозга». Эти персонализированные модели, так называемые «виртуальные пациенты с эпилепсией», могут быть использованы для предсказания припадков, а также для планирования хирургических вмешательств и предупреждения их последствий и осложнений [55, 56].

Применение ИИ может быть полезно в качестве инструмента для выявления ранних признаков заболеваний, принятия решений по постановке диагноза, лечения, оценки развития и прогноза заболевания. Широкое внедрение элементов искусственного интеллекта в рутинную практику врачей позволит не только уменьшить время на поиск решений, но и снизить процент диагностических ошибок. Так, московские поликлиники уже начали использовать новый сервис на базе ИИ.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цифровые технологии в настоящее время являются наиболее быстро развивающейся областью, имеющей большое значение для

здравоохранения. Таким образом, для подготовки врачей необходимы новые программы, охватывающие технологическую, юридическую и клиническую сферы.

Внедрение новых технологий всегда вызывает недоверие не только у населения, но и у медицинских работников, вызванное сомнениями в безопасности данных и этических аспектах. Однако цифровизация информации, доступность интернета и мобильных приложений внедряется и захватывает общественность, формируя новые цифровые навыки у отдельного человека и государства в целом.

Используемые в медицине цифровые технологии обязаны контролироваться специалистами и помогать врачам, выполняя свою ассистирующую функцию. Мы должны понимать, что, несмотря на все положительные моменты данной технологии, ничто не заменит для пациента и врача «живого» общения, а уникальность человеческого ума с его естественным интеллектом в нестандартных ситуациях не способен заменить искусственный. Однако запущенная машина развивается с большой скоростью и ее потенциал огромен, что может повлечь за собой необратимые последствия, как позитивные, так и негативные. На данном этапе, в соответствии с фундаментальной теоремой о биомедицинском информатике Фридмана, не столь отдаленное будущее медицины можно сформулировать так: «Врачи, использующие искусственный интеллект, заменят врачей, которые его не используют» [57, 58].

ЛИТЕРАТУРА

1. Смышляев А.В., Мельников Ю.Ю., Садовская М.А. Нормативно-правовое регулирование развития цифровых технологий в здравоохранении в Российской Федерации. *Главврач Юга России* 2020;72(2). [Smyshlyayev A. V., Melnikov Yu. Yu., Sadovskaya M. A. The result of the project on the introduction of learn-technologies and a process-oriented approach in the management of medical organization that provides primary healthcare in the Russian Federation. *Glavvrach Yuga Rossii = Chief Physician of the South of Russia* 2020;72(2). (In Russian)].
2. Adams JL, Myers TL, Waddell EM, Spear KL, Schneider RB. Telemedicine: A valuable tool in neurodegenerative diseases. *Curr Geriatr Rep* 2020;9(2):72-81. <https://doi.org/10.1007/s13670-020-00311-z>.
3. Dorsey ER, Sherer T, Okun MS, Bloem BR. The emerging evidence of the Parkinson pandemic. *J Park Dis* 2018;8(s1):S3-8. <https://doi.org/10.3233/JPD-181474>.
4. Paleari L, Malini V, Paoli G, Scillieri S, Bighin C, Blobel B, Giacomini M. EU-Funded Telemedicine Projects – Assessment of, and Lessons Learned from, in the Light of the SARS-CoV-2 Pandemic. *Front Med (Lausanne)* 2022;9:849998. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.849998>.
5. Kohler JE, Falcone RA Jr, Fallat ME. Rural health, telemedicine and access for pediatric surgery. *Curr Opin Pediatr* 2019;31(3):391-8. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000763>.
6. Lapointe L, Lavalée-Bourget MH, Pichard-Jolicoeur A, Turgeon-Pelchat C, Fleet R. Impact of telemedicine on diagnosis, clinical management and outcomes in rural trauma patients: A rapid review. *Can J Rural Med* 2020;25(1):31-40. https://doi.org/10.4103/CJRM.CJRM_8_19.
7. Senbekov M, Saliev T, Bukeyeva Z, Almabayeva A, Zhanaliyeva M, Aitenova N, et al. The Recent Progress and Applications of Digital Technologies in Healthcare: A Review. *Int J Telemed Appl* 2020;2020:8830200. <https://doi.org/10.1155/2020/8830200>.
8. Adams JL, Myers TL, Waddell EM, Spear KL, Schneider RB. Telemedicine: A valuable tool in neurodegenerative diseases. *Curr Geriatr Rep* 2020;9(2):72-81. <https://doi.org/10.1007/s13670-020-00311-z>.
9. Dorsey ER, Deuel LM, Voss TS, Finnigan K, George BP, Eason S, et al. Increasing access to specialty care: a pilot, randomized controlled trial of telemedicine for Parkinson's disease. *Mov Disord* 2010;25(11):1652-9. <https://doi.org/10.1002/mds.23145>.
10. Cubo E, Gabriel-Galan JM, Martínez JS, Alcubilla CR, Yang C, Arconada OF, et al. Comparison of office-based versus home webbased clinical assessments for Parkinson's disease. *Mov Disord* 2012;27(2):308-11.

ЛИТЕРАТУРА

<https://doi.org/10.1002/mds.24028>.

11. Abdolahi A, Bull MT, Darwin KC, Venkataraman V, Grana MJ, Dorsey ER, et al. A feasibility study of conducting the Montreal Cognitive Assessment remotely in individuals with movement disorders. *Health Informatics J* 2016;22(2):304–11. <https://doi.org/10.1177/1460458214556373>.
12. Stillerova T, Liddle J, Gustafsson L, Lamont R, Silburn P. Could everyday technology improve access to assessments? A pilot study on the feasibility of screening cognition in people with Parkinson's disease using the Montreal Cognitive Assessment via Internet videoconferencing. *Aust Occup Ther J* 2016;63(6):373–80. <https://doi.org/10.1111/1440-1630.12288>.
13. Dorsey ER, Darwin KC, Mohammed S, Donohue S, Tethal A, Achey MA, et al. Virtual research visits and direct-to-consumer genetic testing in Parkinson's disease. *Digit Health* 2015;(1):2055207615592998. <https://doi.org/10.1177/2055207615592998>.
14. Tarolli C, Zimmerman G, Goldenthal S, Feldman B, Berk S, Siddiqi B, et al. Video research visits for atypical parkinsonian syndromes among Fox Trial Finder participants. *Neurology* 2019;00(00):1–8. <https://doi.org/10.1212/CPJ.0000000000000680>.
15. Бриль Е.В., Томский А.А., Поддубская А.А., Гамалея А.А., Федорова Н.В. Анализ причин отказа в нейрохирургическом лечении пациентов с болезнью Паркинсона при направлении в экстрапирамидный центр. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии* 2021;15(3):43–53. [Bril' E.V., Tomskiy A.A., Poddubskaya A.A., Gamaleya A.A., Fedorova N.V. Analysing the reasons for rejection of neuro- surgery intervention in patients with Parkinson's disease referred to an extrapyramidal movement disorders clinic. *Annaly klinicheskoy i eksperimental'noy neurologii = Annals of clinical and experimental neurology* 2021;15(3):43–53. (In Russian)]. <http://dx.doi.org/10.54101/ACEN.2021.3.5>
16. Jitkrisadakul O, Rajalingam R, Toenjes C, Munhoz RP, Fasano A. Tele-health for patients with deep brain stimulation: the experience of the Ontario Telemedicine Network. *Mov Disord* 2018;33(3):491–2. <https://doi.org/10.1002/mds.27230>.
17. Sekimoto S, Oyama G, Chiba S, Nuermairaiti M, Sasaki F, Hattori N. Holomedicine: Proof of the Concept of Interactive Three-Dimensional Telemedicine. *Mov Disord* 2020;35:1719–20. <https://doi.org/10.1002/mds.28249>.
18. Azad N, Amos S, Milne K, Power B. Telemedicine in a rural memory disorder clinic-remote management of patients with dementia. *Can Geriatr J* 2012;15(4):96–100. <https://doi.org/10.5770/cgj.15.28>.
19. Barton C, Morris R, Rothlind J, Yaffe K. Video-telemedicine in a memory disorders clinic: evaluation and management of rural Curr Geri Rep elders with cognitive impairment. *Telemed J E Health* 2011;17(10):789–93. <https://doi.org/10.1089/tmj.2011.0083>.
20. Powers JS, Buckner J. Reaching out to rural caregivers and veterans with dementia utilizing clinical video-telehealth. *Geriatrics (Basel)* 2018;3(2):29. <https://doi.org/10.3390/geriatrics3020029>.
21. Dang S, Gomez-Orozco CA, van Zuilen MH, Levis S. Providing dementia consultations to veterans using clinical video telehealth: results from a clinical demonstration project. *Telemed J E Health* 2018;24(3):203–9. <https://doi.org/10.1089/tmj.2017.0089>.
22. Vitacca M, Comini L, Assoni G, Fiorenza D, Gillj S, Bernocchi P, Scalvini S. Tele-assistance in patients with amyotrophic lateral sclerosis: long term activity and costs. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2012;7(6):494–500. <https://doi.org/10.3109/17483107.2011.652999>.
23. De Marchi F, Contaldi E, Magistrelli L, Cantello R, Comi C, Mazzini L. Telehealth in Neurodegenerative Diseases: Opportunities and Challenges for Patients and Physicians. *Brain Sci* 2021;11(2):237. <https://doi.org/10.3390/brainsci11020237>.
24. Wilkinson JR, Spindler M, Wood SM, Marcus SC, Weintraub D, Morley JF, et al. High patient satisfaction with telehealth in Parkinson disease: a randomized controlled study. *Neurol Clin Pract* 2016;6(3):241–51. <https://doi.org/10.1212/CPJ.0000000000000252>.
25. Dang S, Gomez-Orozco CA, van Zuilen MH, Levis S. Providing dementia consultations to veterans using clinical video telehealth: results from a clinical demonstration project. *Telemed J E Health* 2018;24(3):203–9. <https://doi.org/10.1089/tmj.2017.0089>.
26. Moo LR, Gately ME, Jafri Z, Shirk SD. Home-based video telemedicine for dementia management. *Clin Gerontol* 2020;43(2):193–203. <https://doi.org/10.1080/07317115.2019.1655510>.
27. Afzal HMR, Luo S, Ramadan S, Lechner-Scott J. The emerging role of artificial intelligence in multiple sclerosis imaging. *Mult Scler* 2022;28(6):849–58. <https://doi.org/10.1177/1352458520966298>.
28. Zhang L, Tan J, Han D, Zhu H. From machine learning to deep learning: progress in machine intelligence for rational drug discovery. *Drug Discov Today* 2017;22(11):1680–5. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2017.08.010>.
29. Sakai K, Yamada K. Machine learning studies on major brain diseases: 5-year trends of 2014–2018. *Jpn J Radiol* 2019;37(1):34–72. <https://doi.org/10.1007/s11604-018-0794-4>.
30. Андропова П.Л., Гаврилов П.В., Савинцева Ж.И., Вовк А.В., Рыбин Е.В. Применение систем искусственного интеллекта в нейрорадиологии острого ишемического инсульта. *Лучевая диагностика и терапия* 2021;12(2):30–5. [Andropova P.L., Gavrilov P.V., Savintseva Zh.I., Vovk A.V., Rybin E.V. Application of artificial intelligence systems in neuroradiology of acute ischemic stroke. *Lučevaya diagnostika i terapiya = Diagnostic radiology and radiotherapy* 2021;12(2):30–5. (In Russian)]. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-2-30-36>.
31. Kovalenko E, Talitckii A, Anikina A, Shcherbak A, Dylov DV, Somov A et al. Distinguishing between Parkinson's disease and essential tremor through video analytics using machine learning: a pilot study. *IEEE Sensors Journal* 2021;21(10):11916–25. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3035240>.
32. Talitckii A, Kovalenko E, Anikina A, Shcherbak A, Dylov DV, Somov A et al. Avoiding misdiagnosis of Parkinson's disease with the use of wearable sensors and artificial intelligence. *IEEE Sensors Journal* 2021;21(3):3738–47. <http://dx.doi.org/10.1109/JSEN.2020.3027564>.
33. Talitckii A, Kovalenko E, Shcherbak A, Anikina A, Dylov DV, Somov A et al. Comparative study of wearable sensors, video, and handwriting to detect Parkinson's disease. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 2022;71:2509910. <http://dx.doi.org/10.1109/TIM.2022.3176898>.
34. Myszczyńska MA, Ojames PN, Lacoste AMB, Neil D, Saffari A, Mead R, et al. Applications of machine learning to diagnosis and treatment of neurodegenerative diseases. *Nat Rev Neurol* 2020;16(8):440–56. <https://doi.org/10.1038/s41582-020-0377-8>.
35. Griffiths RI, Kotschet K, Arfon S, Xu ZM, Johnson W, Drago J, Evans A, Kempster P, Raghav S, Horne MK. Automated assessment of bradykinesia and dyskinesia in Parkinson's disease. *J Parkinsons Dis* 2012;2(1):47–55. <https://doi.org/10.3233/JPD-2012-11071>.
36. Oung, Q.W., Muthusamy, H., Basah, S.N. et al. Empirical Wavelet Transform Based Features for Classification of Parkinson's Disease Severity. *J Med Syst* 2018;42(2):29. <https://doi.org/10.1007/s10916-017-0877-2>.
37. Belić M, Bobić V, Badža M, Šolaja N, Đurić-Jovičić M, Kostić VS. Artificial intelligence for assisting diagnostics and assessment of Parkinson's disease-A review. *Clin Neurol Neurosurg* 2019;184:105442. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2019.105442>.
38. SUMMERS, Mathew J, Madl T, Vercelli EA. Deep Machine Learning Application to the Detection of Preclinical Neurodegenerative Diseases of Aging. *DigitCult – Scientific Journal on Digital Cultures* 2017;2(2):9–24. <http://dx.doi.org/10.4399/97888255088952>.
39. Choi H, Kang H, Lee DS; Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. Predicting Aging of Brain Metabolic Topography Using Variational Autoencoder. *Front Aging Neurosci* 2018;10:212. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00212>.
40. Lundervold AS, Lundervold A. An overview of deep learning in medical imaging focusing on MRI. *Z Med Phys* 2019;29(2):102–27. <https://doi.org/10.1016/j.zemedi.2018.11.002>.
41. Myszczyńska MA, Ojames PN, Lacoste AMB, Neil D, Saffari A, Mead R, Hautbergue GM, Holbrook JD, Ferraiuolo L. Applications of machine learning to diagnosis and treatment of neurodegenerative diseases. *Nat Rev Neurol* 2020;16(8):440–56. <https://doi.org/10.1038/s41582-020-0377-8>.
42. Bron EE, Smits M, Niessen WJ, Klein S. Feature Selection Based on the SVM Weight Vector for Classification of Dementia. *IEEE J Biomed Health Inform* 2015;19(5):1617–26. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2015.2432832>.
43. Ho KC, Speier W, El-Saden S, Arnold CW. Classifying acute ischemic stroke onset time using deep imaging features. *AMIA Annual Symposium Proceedings. Washington* 2018;2017:892–901.
44. Chen L, Bentley P, Rueckert D. Fully automatic acute ischemic lesion segmentation in DWI using convolutional neural networks. *NeuroImage* 2017;5:633–43. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2017.06.016>.

ЛИТЕРАТУРА

45. Scalzo F, Alger JR, Hu X, Saver JL, Dani KA, Muir KW. Multi-center prediction of hemorrhagic transformation in acute ischemic stroke using permeability imaging features. *Magn Reson Imag* 2018;31(6):961–9. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2013.03.013>.
46. Solomon AJ, Watts R, Ontaneda D, Absinta M, Sati P, Reich DS. Diagnostic performance of central vein sign for multiple sclerosis with a simplified three-lesion algorithm. *Mult Scler* 2018;24(6):750–7. <https://doi.org/10.1177/1352458517726383>.
47. Filippi M, Preziosa P, Arnold DL, Barkhof F, Harrison DM, Maggi P, et al. Present and future of the diagnostic work-up of multiple sclerosis: the imaging perspective. *J Neurol* 2023;270(3):1286–99. <https://doi.org/10.1007/s00415-022-11488-y>.
48. Wang SH, Tang C, Sun J, Yang J, Huang C, Phillips P, Zhang YD. Multiple Sclerosis Identification by 14-Layer Convolutional Neural Network With Batch Normalization, Dropout, and Stochastic Pooling. *Front Neurosci* 2018;12:818. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00818>.
49. Zhang YD, Pan C, Sun J, Tang C. Multiple sclerosis identification by convolutional neural network with dropout and parametric ReLU. *J Comput Sci* 2018;28:1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2018.07.003>.
50. Nair PP, Aghoram R, Khilari ML. Applications of artificial intelligence in epilepsy. *International Journal of Advanced Medical and Health Research* 2021;8(2):41–8. <https://doi.org/10.21037/pm-21-26>
51. Daoud H, Bayoumi MA. Efficient Epileptic Seizure Prediction Based on Deep Learning. *IEEE Trans Biomed Circuits Syst* 2019;13(5):804–13. <https://doi.org/10.1109/TBCAS.2019.2929053>.
52. Murashov D, Obukhov Y, Kershner I, Sinkin M. An algorithm for automated detection of delayed brain ischemia indicator from video-EEG monitoring data. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spatial Inf Sci* 2023;187–192. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W3-2023-187-2023>.
53. Yu S, El Atrache R, Tang J, Jackson M, Makarucha A, Cantley S, et al. Artificial intelligence-enhanced epileptic seizure detection by wearables. *Epilepsia* 2023;64:3213–26. <https://doi.org/10.1111/epi.17774>.
54. Regalia G, Onorati F, Lai M, Caborni C, Picard RW. Multimodal wrist-worn devices for seizure detection and advancing research: Focus on the Empatica wristbands. *Epilepsy Res* 2019;153:79–82. <https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2019.02.007>.
55. An S, Kang C, Lee HW. Artificial Intelligence and Computational Approaches for Epilepsy. *J Epilepsy Res* 2020;10(1):8–17. <https://doi.org/10.14581/jer.20003>.
56. Jirsa VK, Proix T, Perdikis D, Woodman MM, Wang H, Gonzalez-Martinez J, et al. The Virtual Epileptic Patient: Individualized whole-brain models of epilepsy spread. *Neuroimage* 2017;145(Pt B):377–88. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.04.049>.
57. Карпов О.Э., Андриков Д.А., Максименко В.А., Храмов А.Е. Прозрачный искусственный интеллект для медицины. *Врач и информационные технологии* 2022;2:4–11. [Karpov O.E., Andrikov D.A., Maksimenko V.A., Hramov A.E. Explainable artificial intelligence for medicine. *Vrach i informatsionnyye tekhnologii = Medical doctor and information technology* 2022;2:4–11. (In Russian)]. https://doi.org/10.25881/18110193_2022_2_4.
58. Friedman CP. A «fundamental theorem» of biomedical informatics. *J Am Med Inform Assoc* 2009;16(2):169–70. <https://doi.org/10.1197/jamia.M3092>.

Сведения об авторах:

Бриль Е.В. – к.м.н., руководитель центра экстрапирамидных расстройств и психического здоровья ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, заведующая кафедрой неврологии с курсом нейрохирургии; Медико-биологический университет инноваций и непрерывного образования ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, доцент кафедры неврологии РМАНПО; Москва, Россия; РИНЦ Author ID 737607, <https://orcid.org/0000-0002-6524-4490>

Федотова Н.А. – невролог центра экстрапирамидных расстройств и психического здоровья ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России; Москва, Россия

Зимнякова О.С. – врач-невролог центра экстрапирамидных расстройств и психического здоровья ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России; Москва, Россия; РИНЦ Author ID 989523

Шадеркина А.И. – младший научный сотрудник Научно-практического центра детской психоневрологии ДЗМ, младший научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный научный центр психологических и междисциплинарных исследований»; Москва, Россия; РИНЦ Author ID 1064989, <https://orcid.org/0000-0003-0639-3274>

Вклад авторов:

Бриль Е.В. – определение научного интереса, дизайн обзора, написание текста 40%
Федотова Н.А. – определение научного интереса, обзор литературы, 25%
Зимнякова О.С. – обзор литературы, написание текста, 25%
Шадеркина А.И. – определение научного интереса, 10%

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Статья поступила: 17.06.2023

Рецензирование: 17.06.2023

Принята к публикации: 19.06.2023

Information about authors:

Bril E.V. – PhD, Head of the Center for Extrapyrmidal Disorders and Mental Health of the State Scientific Center FMBC named after A.I. Burnazyan FMBA of Russia, Head of the department of neurology with a course of neurosurgery; Medical and Biological University of Innovation and Continuing Education FMBC named after. A.I. Burnazyan, FMBA of Russia, Associate Professor, Department of Neurology, RMANPO; Moscow, Russia; RSCI Author ID 737607, <https://orcid.org/0000-0002-6524-4490>

Fedotova N.A. – neurologist at the Center for Extrapyrmidal Disorders and Mental Health of the State Research Center FMBC named after. A.I. Burnazyan FMBA of Russia; Moscow, Russia

Zimnyakova O.S. – neurologist at the Center for Extrapyrmidal Disorders and Mental Health of the State Scientific Center FMBC named after. A.I. Burnazyan FMBA of Russia; Moscow, Russia; RSCI Author ID 989523

Shaderkina A.I. – junior researcher Scientific and Practical Center for Pediatric Psychoneurology of the Moscow Department of Health, junior researcher Federal Scientific Center for Psychological and Interdisciplinary Research; Moscow, Russia; RSCI Author ID 1064989, <https://orcid.org/0000-0003-0639-3274>

Authors contributions:

Bril E.V. – identification of scientific interest, review design, text writing 40%
Fedotova N.A. – identification of scientific interest, literature review, 25%
Zimnyakova O.S. – literature review, text writing, 25%
Shaderkina A.I. – determination of scientific interest, 10%

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

Financing. The study was performed without external funding.

Received: 17.06.2023

Reviewing: 17.06.2023

Accepted for publication: 19.06.2023