

Болезнь Паркинсона: применение современных цифровых систем и подходов для оценки неврологической дисфункции пациентов (литературный обзор)

Б. О. Щеглов¹✉А. А. Яковенко²А. Ф. Артеменко³Е. А. Ледков⁴А. Р. Биктимиров⁵

¹ Федеральный центр мозга и нейротехнологий, Москва, Россия, b.shcheglov@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-2262-1831>

² Федеральный центр мозга и нейротехнологий, Москва, Россия, andrey.drus@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-0337-8298>

³ Федеральный центр мозга и нейротехнологий, Москва, Россия, a.f.artemenko85@gmail.com,
<https://orcid.org/0009-0003-2927-323X>

⁴ Федеральный центр мозга и нейротехнологий, Москва, Россия, ledkov.evgenii@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-3552-1194>

⁵ Федеральный центр мозга и нейротехнологий, Москва, Россия, biartur2006@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-2838-2218>

Резюме

Введение. Выполнен комплексный анализ опыта применения современных цифровых технологий, включая носимые сенсоры, компьютерное зрение и алгоритмы искусственного интеллекта.

Цель работы. Диагностика, мониторинг и реабилитация пациентов с болезнью Паркинсона, с фокусом на оценку их потенциала в объективизации моторных симптомов, выявлении ключевых преимуществ и системных ограничений, препятствующих их широкой клинической интеграции.

Материалы и методы. Проведен систематический обзор научной литературы за период 2020–2025 годов с использованием баз данных PubMed, Scopus, Web of Science и eLibrary.ru. Поиск осуществлялся по ключевым терминам, таким как «digital biomarkers», «computer vision», «machine learning», «Parkinson's disease» и «telemedicine platforms». Методология включала критический анализ и систематизацию данных с выделением архитектурных решений, алгоритмических подходов и результатов клинической апробации цифровых систем.

Результаты. Установлено, что цифровые технологии, в частности многоуровневые платформы по типу Parkinson Expert System, демонстрируют высокую эффективность в формировании объективных цифровых биомаркеров для оценки тремора, брадикинезии и нарушений походки, показывая высокую корреляцию с традиционными клиническими шкалами. Ключевым ограничением является отсутствие стандартизации протоколов, валидации и единых методологических подходов, что затрудняет сопоставимость результатов и их трансляцию в рутинную практику.

Заключение. Цифровые технологии обладают значительным трансформационным потенциалом для персонализации диагностики и мониторинга болезни Паркинсона, обеспечивая непрерывный и объективный сбор данных. Однако для их успешной интеграции в клиническую практику необходимы разработка единых стандартов, проведение масштабных многоцентровых исследований и решение вопросов, связанных с валидацией алгоритмов, защитой данных и взаимодействием систем. Дальнейшее развитие этого направления позволит повысить точность и эффективность медицинской помощи пациентам с нейродегенеративными заболеваниями.

Ключевые слова: болезнь Паркинсона, цифровые технологии, телемедицина

Для цитирования: Щеглов Б. О., Яковенко А. А., Артеменко А. Ф., Ледков Е. А., Биктимиров А. Р. Болезнь Паркинсона: применение современных цифровых систем и подходов для оценки неврологической дисфункции пациентов (литературный обзор). Лечащий Врач. 2026; 1 (29): 69–75. <https://doi.org/10.51793/OS.2026.29.1.010>

Конфликт интересов. Авторы статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Parkinson's disease: application of modern digital systems and approaches for the assessment of neurological dysfunction in patients (a literature review)

Bogdan O. Shcheglov¹✉

Andrey A. Yakovenko²

Alexander F. Artemenko³

Evgeny A. Ledkov⁴

Artur R. Biktimirov⁵

¹ Federal Center for Brain and Neurotechnology, Moscow, Russia, b.shcheglov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2262-1831>

² Federal Center for Brain and Neurotechnology, Moscow, Russia, andrey.drus@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0337-8298>

³ Federal Center for Brain and Neurotechnology, Moscow, Russia, a.f.artemenko85@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-2927-323X>

⁴ Federal Center for Brain and Neurotechnology, Moscow, Russia, ledkov.evgenii@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3552-1194>

⁵ Federal Center for Brain and Neurotechnology, Moscow, Russia, biartur2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2838-2218>

Abstract

Background. A comprehensive analysis of modern digital technologies, including wearable sensors, computer vision, and artificial intelligence algorithms, was conducted.

Objective. To evaluate the use of these technologies for the diagnosis, monitoring, and rehabilitation of patients with Parkinson's disease, focusing on their potential to objectively assess motor symptoms, identify key advantages, and highlight systemic limitations that hinder their widespread clinical integration.

Materials and methods. A systematic review of the scientific literature from 2020 to 2025 was conducted using the PubMed, Scopus, Web of Science, and eLibrary.ru databases. The search employed key terms such as digital biomarkers, computer vision, machine learning, Parkinson's disease, and telemedicine platforms. The methodology included critical analysis and systematization of data, emphasizing architectural solutions, algorithmic approaches, and results of clinical testing of digital systems.

Results. Digital technologies, particularly multi-level platforms such as the Parkinson Expert System, demonstrate high efficiency in forming objective digital biomarkers for assessing tremor, bradykinesia, and gait disturbances, showing strong correlation with traditional clinical scales. The key limitation lies in the lack of standardized protocols, validation procedures, and unified methodological approaches, which complicates the comparability of results and their translation into routine clinical practice.

Conclusion. Digital technologies possess significant transformative potential for the personalization of Parkinson's disease diagnosis and monitoring by enabling continuous and objective data collection. However, successful clinical integration requires the development of unified standards, large-scale multicenter studies, and solutions addressing algorithm validation, data protection, and system interoperability. Further development of this field will improve the accuracy and efficiency of medical care for patients with neurodegenerative diseases.

Keywords: Parkinson's disease, digital technologies, telemedicine

For citation: Shcheglov B. O., Yakovenko A. A., Artemenko A. F., Ledkov E. A., Biktimirov A. R. Parkinson's disease: application of modern digital systems and approaches for the assessment of neurological dysfunction in patients (a literature review). *Lechashchiy Vrach*. 2026; 1 (29): 69-75. (In Russ.) <https://doi.org/10.51793/OS.2026.29.1.010>

Conflict of interests. Not declared.

В последние годы в мировой научной и клинической практике наблюдается устойчивый рост интереса к разработке и внедрению цифровых технологий для диагностики, мониторинга и реабилитации пациентов с болезнью Паркинсона (БП) [1]. Актуальность данного направления обусловлена не только высокой распространенностью заболевания и его значимым влиянием на качество жизни пациентов, но и объективной необходимостью повышения точности диагностики, совершенствования методов оценки динамики состояния и обеспечения персонализированного подхода к терапии [2]. По данным Всемирной организации здравоохранения, распространенность БП неуклонно возрастает: если в 1990 году число пациентов оценивалось примерно в 2,5 млн человек, то к 2019 году оно превысило 6 млн, а к середине XXI века прогнозируется удвоение этой цифры вследствие глобального старения населения [3]. Заболеваемость характеризуется выраженной возрастной зависимостью, достигая максимальных показателей у людей старше 65 лет, что обуславливает особую нагрузку на систему здравоохранения и социального обеспечения [4].

В совокупности современные научные изыскания в области нейродегенеративных заболеваний свидетельствуют о последовательном и устойчивом росте интереса к использованию цифровых технологий и методов машинного обучения в клинической практике, направленных на объективизацию диагностики и мониторинга двигательных нарушений при БП и смежных патологиях [5]. Если в ранних исследованиях приоритет отдавался традиционным клиническим шкалам, таким как MDS-UPDRS, значение которых ограничивалось субъективностью оценок и высокой межэкспертной вариабельностью, то новейшие подходы демонстрируют смещение исследовательского фокуса в сторону инструментальных методов анализа, основанных на сенсорных системах, технологиях видеотрекинга и алгоритмах искусственного интеллекта (ИИ) [6]. Данный сдвиг отражает стремление к формированию более точной, воспроизводимой и стандартизированной диагностики, а также к раннему выявлению нарушений, которые зачастую ускользают от клинического наблюдения на начальных стадиях заболевания [7].

Стоит отметить, что данные технологии обладают потенциалом масштабирования, могут применяться без использования дорогостоящего оборудования и открывают перспективы проведения диагностики в домашних условиях [8]. Тем не менее, несмотря на очевидные преимущества, сохраняются значительные методологические ограничения, связанные с отсутствием единых исследовательских протоколов, дефицитом многоцентровых и длительных наблюдательных проектов, а также ограниченной репрезентативностью изучаемых когорт [9].

Важным направлением современного развития становится интеграция цифровых технологий в сферу персонализированного ведения пациентов, что проявляется в создании инструментов для оценки эффективности фармакотерапии и методов нейростимуляции [10], внедрении решений на основе виртуальной реальности для когнитивно-моторной диагностики [11], а также в применении игровых и теле-реабилитационных платформ, способствующих повышению приверженности пациентов к терапевтическим стратегиям [12]. Вместе с тем до настоящего времени остаются нерешенными вопросы стандартизации и унификации данных, клинической валидации алгоритмов, а также обеспечения соблюдения этических и правовых норм, включая аспекты защиты персональной информации и конфиденциальности [13].

Существенным направлением является развитие технологий компьютерного зрения и глубокого обучения, позволяющих осуществлять автоматизированный бесконтактный анализ движений, включая походку, тремор, брадикинезию и нарушения координации [14]. Использование таких инструментов, как DeepLabCut и MediaPipe, открывает возможности для масштабирования методов объективной оценки и их применения в клинической практике и домашних условиях [15]. Однако, несмотря на продемонстрированную эффективность, сохраняется необходимость валидации этих подходов в условиях клинической практики, а также адаптации их для использования в реальном времени и в многоцентровых исследованиях [16].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы и методы настоящего обзора основаны на систематическом поиске и анализе рецензируемых научных публикаций, посвященных вопросам разработки, архитектурных особенностей и логики функционирования цифровых систем, предназначенных для оценки неврологической дисфункции у пациентов с БП. Поиск осуществлялся с 2020 по 2025 год в международных библиографических базах данных PubMed, Scopus, Web of Science (WoS), а также в российской научной электронной библиотеке elibrary.ru. Целью отбора источников было выявление актуальных данных о принципах построения и функционирования цифровых платформ, применяемых для диагностики, мониторинга и реабилитации пациентов с нейродегенеративными заболеваниями, с акцентом на БП.

Для поиска использовались ключевые термины, отражающие различные аспекты цифровой медицины и нейродиагностики, включая «Parkinson's disease», «digital biomarkers», «computer vision», «machine learning», «telemedicine platforms», «neurological assessment systems» и «cloud diagnostics». Отбор статей осуществлялся по критериям релевантности, научной значимости и новизны, приоритет отдавался оригинальным исследованиям, комплексным аналитическим обзорам и публикациям, содержащим описание архитектурных реше-

ний, алгоритмических подходов и клинической апробации цифровых систем.

Методологический подход включал критический анализ и систематизацию полученных данных с целью выявления ключевых направлений развития цифровых технологий в области паркинсонизма, определения повторяющихся закономерностей в построении архитектуры систем и логики их функционирования, а также сравнительную оценку преимуществ и ограничений различных решений.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты проведенного анализа свидетельствуют о том, что современные цифровые технологии в области неврологии демонстрируют высокий потенциал в разработке новых подходов к диагностике, мониторингу и ведению пациентов с БП и другими нейродегенеративными расстройствами [17]. Одним из ключевых направлений стало формирование концепции цифровых биомаркеров, способных обеспечивать объективную оценку моторных и немоторных функций, а также динамики заболевания в реальном времени [18]. Их использование позволяет не только фиксировать эффективность терапии, но и корректировать дозировку препаратов, отслеживать побочные эффекты и выявлять закономерности прогрессирования болезни, что делает их важным инструментом для персонализированного ведения пациентов [19].

В ряде исследований показано, что новые цифровые инструменты способны компенсировать ограничения традиционных нейропсихологических методик, предлагая более объективные и воспроизводимые подходы к оценке когнитивного и моторного статуса пациентов, при этом акцент делается на соблюдении этических норм и разработке практических сценариев интеграции в клинический процесс [20]. В России одним из проектов, реализующих принцип мультиомиксного анализа данных о пациентах с БП, является проект Parkinson Expert System (PES), представляющий собой многоуровневую платформу цифрового мониторинга, интегрирующую стационарные, мобильные и облачные компоненты.

Архитектура системы включает в себя:

- Hospital Diagnostics Complex — HDC (комплекс клинической диагностики), предназначенный для применения в клинических условиях неврологами и позволяющий стандартизировать диагностику и регистрацию результатов обследования в стационаре;
- Mobile Diagnostics System — MDC (мобильную систему диагностики), обеспечивающую дистанционное взаимодействие пациента и врача, контроль выполнения предписанных упражнений, а также ведение системы учета и напоминаний о приеме лекарственных средств;
- Cloud Diagnostics System — CDC (облачную диагностическую систему), которая служит вычислительной основой проекта и предназначена для реализации алгоритмов машинного обучения, анализа больших массивов данных и формирования прогностических моделей течения заболевания.

Система PES сочетает в себе применение валидированных клинических шкал и опросников с объективными цифровыми методами оценки моторных нарушений. В ее рамках используются такие шкалы, как модифицированная шкала Хен и Яра, шкала качества жизни PDQ-39, шкала повседневной активности Schwab & England, госпитальная шкала тревоги и депрессии HADS, батарея оценки лобной дисфункции FAB, а также опросник MDS-UPDRS

(части I и II). Кроме того, особое внимание уделяется объективизации данных раздела III шкалы MDS-UPDRS, связанного с моторными функциями. Для этого реализованы видеотесты, аудиотесты и графические задания, включающие оценку мимики, постукивания пальцами и носком стопы, кистевых движений, пронации/супинации, способности встать с кресла, анализа походки, а также выполнение графических проб, таких как оценка почерка и рисование спирали.

Отдельное направление связано с применением технологий носимой электроники и систем компьютерного зрения для анализа походки, позволяющих выявлять сильные и слабые стороны различных подходов, а также оценивать их клиническую применимость [21]. Масштабные обзоры подтверждают, что сенсорные данные могут классифицировать и количественно определять статус болезни, обеспечивая основу для более точного стратифицирования пациентов [22].

Особое внимание уделяется применению алгоритмов ИИ и видеоанализа, которые повышают точность объективизации моторных нарушений и обладают высоким потенциалом масштабирования в клинической практике [23]. Продemonстрировано, что использование инерциальных сенсоров позволяет достоверно регистрировать корреляцию между объективными показателями и клиническими шкалами, при этом их оптимальное размещение на теле пациента существенно влияет на точность получаемых данных [24]. Современные исследования также демонстрируют эффективность инструментов машинного и глубокого обучения для дифференциации пациентов с БП от здоровых добровольцев, а также для определения выраженности симптомов и оценки ответа на терапию [25].

Накопленные данные подтверждают высокую точность цифровых моделей при классификации походки, отслеживании изменений мимики, движений конечностей и анализа почерка, что коррелирует с клиническими показателями UPDRS [26]. При этом отдельные проекты, включая разработку специализированных мобильных приложений, таких как PDMonitor™ или STAT-ON™, продемонстрировали возможность их применения в условиях реальной жизни, хотя сохраняются вопросы, связанные с валидацией, удобством использования и долгосрочной приверженностью пациентов [27].

Современные цифровые системы также подтверждают возможность применения технологий виртуальной реальности, которые позволяют оценивать когнитивные и моторные функции в динамике, обеспечивая как клиническую валидность, так и высокий уровень вовлеченности пациентов. Наработки в области создания открытых датасетов и инструментов анализа движений, таких как TULIP или MADS, закладывают основу для стандартизации цифровых биомаркеров и разработки автоматизированных диагностических решений нового поколения.

Современные цифровые системы опираются на широкий спектр технологий, включая сенсорные устройства, мобильные приложения, алгоритмы машинного обучения и методы компьютерного зрения. Исследования подтверждают высокую чувствительность цифровых метрик к моторным нарушениям, таким как брадикинезия, тремор и нарушения походки, в том числе с применением видеотрекинга, сенсорных технологий и смартфон-инструментированных тестов [28]. При этом использование алгоритмов глубокого обучения и компьютерного зрения позволяет

повысить точность оценки выраженности симптомов, снижая зависимость от субъективных клинических шкал, хотя сохраняется необходимость валидации и стандартизации методик [29].

Полученные данные указывают на высокую корреляцию цифровых показателей с традиционными шкалами, такими как UPDRS и ALS-FRS(R), что подтверждает их клиническую применимость. Однако исследования демонстрируют также определенные ограничения: неоднородность протоколов, вариабельность когорт пациентов и различия в методологических подходах затрудняют сопоставимость результатов, указывая на необходимость разработки единых стандартов для цифровых биомаркеров.

Наряду с этим отдельное направление составляет анализ глазодвигательной активности и цифровых электромиографических параметров, которые подтверждают роль DEMOs как чувствительных биомаркеров неврологического дефицита, расширяя спектр диагностических возможностей [30]. Развитие систем постоянного мониторинга, таких как QDG Mobility Score, продемонстрировало полное соблюдение протоколов пациентами на протяжении длительных периодов наблюдения и корреляцию с функциональными шкалами повседневной активности и терапевтическими ответами. Параллельно создаются алгоритмические решения для других нейродегенеративных патологий, включая боковой амиотрофический склероз, где системы nQiALS показали высокие диагностические характеристики при выявлении заболевания и оценке темпов его прогрессирования.

Современные цифровые платформы интегрируют возможности телемедицины, что особенно значимо в контексте объективизации оценки спастичности и удаленных клинических осмотров. Новые шкалы продемонстрировали конкурентную или превосходящую надежность по сравнению с традиционными методиками, обеспечивая воспроизводимость и точность амбулаторных наблюдений. Важное место занимают видеоаналитические технологии, которые не только превосходили традиционные тесты двигательных функций в классификации заболеваний, но и позволили выявлять такие параметры, как нарушения походки и особенностей движений рук, ранее недоступные в рамках стандартных инструментов. В этом же направлении значимым является создание систем реального времени для оценки брадикинезии и тремора, достигших более 90% точности при выявлении тремора покоя кистей.

Применение методов компьютерного зрения в автоматизированной 2D- и 3D-оценке движений демонстрирует высокую перспективность, что подтверждается значительным числом исследований, сфокусированных на методологиях, наборах данных и междисциплинарных вызовах. Дополнительным ресурсом в формировании единого научно-методологического пространства выступают крупные когорты, систематизирующие клинические и патогенетические данные по двигательным расстройствам, включая БП, тремор, дистонии и другие гипо- и гиперкинетические синдромы, с привлечением цифровых видеоматериалов и визуализированных клинических кейсов.

Ключевым направлением развития остается использование алгоритмов классификации, позволяющих достигать высокой точности при дифференциальной диагностике и оценке тяжести состояний. Так, модели, опирающиеся на интеграцию возрастных данных с моторными признаками, демонстрируют до 96% точности, а использование

только отдельных цифровых показателей позволяет достичь практически стопроцентно правильной классификации. В исследованиях, посвященных другим нозологиям, например боковому амиотрофическому склерозу, также показана тесная взаимосвязь объективных цифровых метрик верхних конечностей с валидированными клиническими шкалами, что подтверждает универсальность цифровых подходов.

Параллельно развивается направление удаленных обследований с применением стандартных видеоплатформ, включая Zoom, что открывает возможности для количественной регистрации дыхательных и моторных показателей у пациентов с миастенией, хотя сохраняются определенные технические ограничения, связанные с качеством записи и стандартизацией условий обследования.

В отечественной практике активное развитие получают интегрированные телемедицинские решения, такие как платформы «СберЗдоровье» и аналогичные сервисы, обеспечивающие не только дистанционное консультирование, но и возможность включения цифровых модулей мониторинга неврологических симптомов. Использование таких продуктов позволяет расширить охват пациентов, повысить доступность специализированной помощи, а также интегрировать результаты объективных цифровых тестов в электронные медицинские карты, что создает основу для формирования единого контура цифрового здравоохранения и поддержки клинического принятия решений в условиях ограниченного доступа к узким специалистам. Внедрение отечественных телемедицинских систем в сочетании с цифровыми биомаркерами и алгоритмами машинного обучения формирует уникальную экосистему, обеспечивающую сопоставимость с зарубежными аналогами и при этом учитывающую национальные особенности регулирования и организации медицинской помощи.

В данном контексте архитектура платформы Parkinson Expert System (PES) органично вписывается в международные тенденции. Ее многоуровневая структура, включающая стационарный диагностический модуль HDC, мобильный комплекс MDC и облачную систему CDC, позволяет интегрировать субъективные данные клинических шкал и опросников с объективными цифровыми метриками, что обеспечивает комплексный подход к оценке состояния пациента.

Вместе с тем остаются нерешенными проблемы, связанные с неоднородностью методологических подходов, вариативностью протоколов, ограниченной репрезентативностью исследуемых когорт и риском смещения данных. Исследователи подчеркивают необходимость разработки единых стандартов сбора, обработки и интерпретации цифровых данных, что позволит повысить сопоставимость результатов и ускорить их трансляцию в клиническую практику.

ОБСУЖДЕНИЕ

В современных исследованиях цифровые технологии демонстрируют существенный потенциал для трансформации диагностики и мониторинга неврологических нарушений, в частности у пациентов с БП. Цифровые биомаркеры и сенсорные устройства позволяют получать объективные, количественные данные о моторных функциях, включая показатели походки, тремора, моторики верхних конечностей и других аспектов двигательной активности. Применение носимых датчиков, видеосистем и мобильных платформ обеспечивает возможность непрерывного наблюдения

за пациентами, что существенно повышает точность оценки тяжести заболевания и эффективности терапии.

Современные подходы, основанные на компьютерном зрении и алгоритмах глубокого обучения, предоставляют возможность автоматизированного анализа видео- и сенсорных данных, снижая субъективность традиционной визуальной оценки движений и повышая воспроизводимость результатов. Такие технологии позволяют выявлять ключевые особенности моторных нарушений, включая замедленность движений, нарушения координации и тремор, а также обеспечивают анализ сложных паттернов движения в естественных условиях. Цифровые платформы с интеграцией интерактивных интерфейсов и игровых элементов способствуют удаленному мониторингу моторных функций и персонализированному подходу к оценке симптоматики.

Несмотря на значительные достижения, современные цифровые системы сталкиваются с рядом ограничений. Одной из ключевых проблем остается гетерогенность данных, недостаток стандартизированных наборов и ограниченная доступность больших валидированных выборок, что затрудняет обобщение результатов и сравнение различных методик. Методологическая неоднородность, необходимость ручной разметки данных и зависимость алгоритмов от качества обучающих наборов могут снижать точность и воспроизводимость оценок. Кроме того, внедрение технологий в клиническую практику сопряжено с вызовами, связанными с соблюдением этических норм, защитой данных больных, удобством использования устройств и уровнем приверженности пациентов.

Анализ литературы указывает на значительные достижения в области разработки и верификации цифровых биомаркеров, включая алгоритмы для обработки данных, полученных с помощью видеозаписей, смартфонов и виртуальной реальности. Такие инструменты демонстрируют способность точно измерять параметры, связанные с движением, речью и когнитивными функциями, а также предоставлять данные, позволяющие проводить дистанционное наблюдение пациентов в условиях, приближенных к реальной жизни. Использование виртуальных симуляций и машинного обучения обеспечивает более детализированную оценку моторных и когнитивных функций, способствуя раннему выявлению субклинических изменений.

Сравнительный анализ современных цифровых систем выявляет важность стандартизации протоколов тестирования, алгоритмов обработки сигналов и методов валидации данных для повышения клинической значимости получаемых показателей. Исследования также подчеркивают необходимость проведения длительных проспективных наблюдений для оценки чувствительности цифровых биомаркеров к изменениям в состоянии пациентов и их корреляции с традиционными шкалами, такими как ALS-FRS (R) или шкалы спастичности.

Кроме того, в литературе отмечается, что новые подходы к оценке моторной функции, включая использование глазодвигательных тестов, измерение амплитуды движения рук и виртуальные упражнения, могут служить высокочувствительными индикаторами неврологического повреждения, позволяя выделять особенности, которые остаются незамеченными при стандартных клинических методах. Подобные методы обеспечивают более комплексную и количественную оценку состояния пациентов, расширяя возможности персонализированной диагностики и прогнозирования.

Особое внимание уделяется экосистемной интеграции цифровых решений, включая сочетание мобильных приложений, носимых сенсоров, ИИ и дистанционного мониторинга, что позволяет создавать более комплексные и информативные инструменты для оценки прогрессирования болезни и терапии. Применение машинного обучения и глубоких нейронных сетей обеспечивает повышение точности классификации стадий заболевания и прогнозирования клинических исходов, однако требует тщательной валидации и адаптации под реальные клинические условия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние годы наблюдается устойчивый рост интереса к цифровым технологиям в области диагностики, мониторинга и реабилитации пациентов с БП. Разработка цифровых биомаркеров, использование носимых сенсоров, мобильных платформ, видеотрекинга и алгоритмов машинного обучения позволяют получать объективные и воспроизводимые данные о моторных и немоторных функциях, обеспечивая более точную оценку тяжести заболевания и эффективности терапии. Применение таких технологий открывает возможности раннего выявления субклинических нарушений, индивидуализации подходов к лечению и непрерывного наблюдения за пациентами в естественных условиях их повседневной активности.

Современные цифровые платформы, включая платформы «СберЗдоровье» и PES, интегрируют клинические шкалы с объективными цифровыми метриками, обеспечивая комплексный подход к оценке состояния пациента и поддерживая телемедицинские функции. Использование алгоритмов глубокого обучения и компьютерного зрения способствует повышению точности диагностики и мониторинга моторных нарушений, снижая субъективность традиционных методов. Внедрение подходов виртуальной реальности, игровых платформ и дистанционных инструментов реабилитации способствует повышению приверженности пациентов и персонализации восстановительных программ.

Вместе с тем сохраняются значимые ограничения, связанные с гетерогенностью данных, отсутствием единых стандартов протоколов, недостатком крупных многоцентровых и длительных исследований, а также необходимостью валидации алгоритмов в реальных клинических условиях. Для дальнейшего прогресса требуется унификация методов сбора, обработки и интерпретации цифровых биомаркеров, создание открытых и репрезентативных наборов данных, а также разработка стандартов интеграции цифровых платформ в клиническую практику. В целом цифровизация диагностики и мониторинга нейродегенеративных заболеваний демонстрирует значительный потенциал для повышения точности, персонализации и эффективности медицинской помощи пациентам с болезнью Паркинсона. **ЛВ**

Вклад авторов:

Концепция статьи — Щеглов Б. О., Биктимиров А. Р.
Концепция и дизайн исследования — Ледков Е. А.
Написание текста — Щеглов Б. О., Яковенко А. А.
Сбор и обработка материала — Ледков Е. А., Артеменко А. Ф.
Анализ материала — Щеглов Б. О., Ледков Е. А.
Редактирование — Артеменко А. Ф., Биктимиров А. Р.
Утверждение окончательного варианта статьи — Биктимиров А. Р.

Contribution of authors:

Concept of the article — Shcheglov B. O., Biktimirov A. R.
Study concept and design — Ledkov E. A.
Text development — Shcheglov B. O., Yakovenko A. A.
Data collection and processing — Ledkov E. A., Artemenko A. F.
Data analysis — Shcheglov B. O., Ledkov E. A.
Editing — Artemenko A. F., Biktimirov A. R.
Approval of the final manuscript — Biktimirov A. R.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственной поддержки создания и развития Научного центра мирового уровня «Центр кибернетической медицины и нейропротезирования» (Соглашение № 075-15-2025-573).

Acknowledgements. This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of the state program for the establishment and development of the World-Class Research Center "Center for cybernetic medicine and neuroprosthetics" (Agreement No. 075-15-2025-573).

Литература/References

1. Stephen C. D., Parisi F., Mancini M., Artusi C. A. Digital biomarkers in movement disorders. *Front. Neurol.* 2025; 16: 1600018.
2. Harris C., Tang Y., Birnbaum E., Cherian C., Mendhe D., Chen M. H. Digital neuropsychology beyond computerized cognitive assessment: applications of novel digital technologies. *Arch. Clin. Neuropsychol.* 2024; 39 (3): 290-304.
3. Salchow-Hömmen C., Skrobot M., Jochner M. C. E., Schauer T., Kühn A. A., Wenger N. Emerging portable technologies for gait analysis in neurological disorders. *Front. Hum. Neurosci.* 2022; 16: 768575.
4. Caro C., Malpica N. Video and optoelectronics in movement disorders. *Int. Rev. Mov. Disord.* 2023; 5: 227-244.
5. Horak F. B., Shah V. V., Mancini M. Digital gait and balance measures. *Int. Rev. Mov. Disord.* 2023; 5: 115-151.
6. Deb R., An S., Bhat G., Shill H., Ogras U. Y. A systematic survey of research trends in technology usage for Parkinson's disease. *Sensors.* 2022; 22 (15): 5491.
7. Park K. W., Mirian M. S., McKeown M. J. Artificial intelligence-based video monitoring of movement disorders in the elderly: a review on current and future landscapes. *Singap. Med. J.* 2024; 65 (3): 141-149.
8. Rábano-Suárez P., Del Campo N., Benatru I., Moreau C., Desjardins C., Sánchez-Ferro Á., Fabbri M. Digital outcomes as biomarkers of disease progression in early Parkinson's disease: a systematic review. *Mov. Disord.* 2025; 40 (2): 184-203.
9. Sun Y. M., Wang Z. Y., Liang Y. Y., Hao C. W., Shi C. H. Digital biomarkers for precision diagnosis and monitoring in Parkinson's disease. *NPJ Digit. Med.* 2024; 7 (1): 218.
10. Thankathuraipandian S., Greenleaf W., Kyani A., Tomlinson T., Balasingh B., Ross E., Pathak Y. Development of a remote therapeutic monitoring platform: applications for movement disorders. *Sci. Rep.* 2024; 14 (1): 29837.
11. Bernad A. E., Woelfle T., Granziera C., Kappos L., Lorscheider J., Barragan A., Pupo Ó. R. A novel methodology for developing smartphone-instrumented tests for assessing movement, dexterity, and balance in neurological patients. *Neurology.* 2024; 102 (7 Suppl 1): 5218.
12. Beswick E., Fawcett T., Hassan Z., Forbes D., Dakin R., Newton J., et al. A systematic review of digital technology to evaluate motor function and disease progression in motor neuron disease. *J. Neurol.* 2022; 269 (12): 6254-6268.
13. Adams J. L., Kangarloo T., Gong Y., Khachadourian V., Tracey B., Volfson D., et al. Using a smartwatch and smartphone to assess early Parkinson's disease in the WATCH-PD study over 12 months. *NPJ Parkinson's Dis.* 2024; 10 (1): 112.

14. Güney G., Jansen T. S., Dill S., Schulz J. B., Dafotakis M., Hoog Antink C., Braczynski A. K. Video-based hand movement analysis of Parkinson patients before and after medication using high-frame-rate videos and MediaPipe. *Sensors*. 2022; 22 (20): 7992.
 15. De Queiroz R. S., Alves J. H., Sasaki J. E. Digital biomarkers in the assessment of mobility in individuals with multiple sclerosis. *Sclerosis*. 2023; 1 (3): 134–150.
 16. Mahboobeh D. J., Dias S. B., Khandoker A. H., Hadjileontiadis L. J. Machine learning-based analysis of digital movement assessment and ExerGame scores for Parkinson's disease severity estimation. *Front. Psychol.* 2022; 13: 857249.
 17. Franco A., Russo M., Amboni M., Ponsiglione A. M., Di Filippo F., Romano M., et al. The role of deep learning and gait analysis in Parkinson's disease: a systematic review. *Sensors*. 2024; 24 (18): 5957.
 18. Mancini M., McKay J. L., Cockx H., D'Cruz N., Esper C. D., Filtjens B., et al. Technology for measuring freezing of gait: current state of the art and recommendations. *J. Parkinson's Dis.* 2025; 15 (1): 19–40.
 19. Garbey M., Lesport Q., Girma H., Öztosun G., Abu-Rub M., Guidon A. C., et al. Application of digital tools and artificial intelligence in the Myasthenia Gravis Core Examination. *Front. Neurol.* 2024; 15: 1474884.
 20. Adams J. L., Kangaroo T., Tracey B., O'Donnell P., Volfson D., Latzman R. D., et al. Using a smartwatch and smartphone to assess early Parkinson's disease in the WATCH-PD study. *NPJ Parkinson's Dis.* 2023; 9 (1): 64.
 21. Morinan G., Dushin Y., Sarapata G., Rupprechter S., Peng Y., Girges C., et al. Computer vision quantification of whole-body Parkinsonian bradykinesia using a large multi-site population. *NPJ Parkinson's Dis.* 2023; 9 (1): 10.
 22. Kim K., Lyu S., Mantri S., Dunn T. W. TULIP: multi-camera 3D precision assessment of Parkinson's disease. *Proc. IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.* 2024; 22551–22562.
 23. Zhang Y., Zeng Z., Mirian M. S., Yen K., Park K. W., Doo M., et al. Investigating the efficacy and importance of mobile-based assessments for Parkinson's disease: uncovering the potential of novel digital tests. *Sci. Rep.* 2024; 14 (1): 5307.
 24. Panero E., D'Alessandro R., Cavallina I., Davico C., Mongini T., Gastaldi L., Ricci F. Wearable inertial devices in Duchenne muscular dystrophy: a scoping review. *Appl. Sci.* 2023; 13 (3): 1268.
 25. Yu T., Park K. W., McKeown M. J., Wang Z. J. Clinically informed automated assessment of finger tapping videos in Parkinson's disease. *Sensors*. 2023; 23 (22): 9149.
 26. Xiang X., Zhang Z., Ma J., Deng Y. AI WALKUP: a computer-vision approach to quantifying MDS-UPDRS in Parkinson's disease. *arXiv preprint arXiv:2404.01654*. 2024.
 27. Lipsmeier F., Taylor K. I., Postuma R. B., Volkova-Volkmar E., Kilchenmann T., Mollenhauer B., et al. Reliability and validity of the Roche PD mobile application for remote monitoring of early Parkinson's disease. *Sci. Rep.* 2022; 12 (1): 12081.
 28. Seo N. Y., Jeong E. W., Lee J. H., Cho S. Y., Jung Y. J. Objective assessment of motor ataxia via quantitative analysis of Romberg's test utilizing webcam-based motion capture with AI. *J. Magn.* 2023; 28 (4): 470–476.
 29. Acien A., Calcagno N., Burke K. M., Mondesire-Crump I., Holmes A. A., Mruthik S., et al. A novel digital tool for detection and monitoring of amyotrophic lateral sclerosis motor impairment via keystroke dynamics. *Sci. Rep.* 2024; 14 (1): 16851.
 30. Graham L., Vitorio R., Walker R., Barry G., Godfrey A., Morris R., Stuart S. Digital eye-movement outcomes (DEMOs) as biomarkers for neurological conditions: a narrative review. *Big Data Cogn. Comput.* 2024; 8 (12): 198.
- Сведения об авторах:**
- Щеглов Богдан Олегович**, к.м.н., научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный центр мозга и нейротехнологий» Федерального медико-биологического агентства России; Россия, 117513, Москва, ул. Островитянова, 1, стр. 10; b.shcheglov@mail.ru
- Яковенко Андрей Александрович**, лаборант-исследователь, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный центр мозга и нейротехнологий» Федерального медико-биологического агентства России; Россия, 117513, Москва, ул. Островитянова, 1, стр. 10; andrey.drus@yandex.ru
- Артеменко Александр Федорович**, инженер, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный центр мозга и нейротехнологий» Федерального медико-биологического агентства России; Россия, 117513, Москва, ул. Островитянова, 1, стр. 10; a.f.artemenko85@gmail.com
- Ледков Евгений Александрович**, к.т.н., научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный центр мозга и нейротехнологий» Федерального медико-биологического агентства России; Россия, 117513, Москва, ул. Островитянова, 1, стр. 10; ledkov.evgenii@yandex.ru
- Биктимиров Артур Рамилевич**, нейрохирург, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный центр мозга и нейротехнологий» Федерального медико-биологического агентства России; Россия, 117513, Москва, ул. Островитянова, 1, стр. 10; biartur2006@yandex.ru
- Information about the authors:**
- Bogdan O. Shcheglov**, Cand. of Sci. (Med.), Researcher, Federal State Budgetary Institution Federal Center for Brain and Neurotechnology of the Federal Medical and Biological Agency of Russia; 1 bld. 10 Ostrovityanova str., Moscow, 117513, Russia; b.shcheglov@mail.ru
- Andrey A. Yakovenko**, Research Assistant, Federal State Budgetary Institution Federal Center for Brain and Neurotechnology of the Federal Medical and Biological Agency of Russia; 1 bld. 10 Ostrovityanova str., Moscow, 117513, Russia; andrey.drus@yandex.ru
- Alexander F. Artemenko**, Engineer, Federal State Budgetary Institution Federal Center for Brain and Neurotechnology of the Federal Medical and Biological Agency of Russia; 1 bld. 10 Ostrovityanova str., Moscow, 117513, Russia; a.f.artemenko85@gmail.com
- Evgeny A. Ledkov**, Cand. of Sci. (Tech.), Researcher, Federal State Budgetary Institution Federal Center for Brain and Neurotechnology of the Federal Medical and Biological Agency of Russia; 1 bld. 10 Ostrovityanova str., Moscow, 117513, Russia; ledkov.evgenii@yandex.ru
- Artur R. Biktimirov**, Neurosurgeon, Federal State Budgetary Institution Federal Center for Brain and Neurotechnology of the Federal Medical and Biological Agency of Russia; 1 bld. 10 Ostrovityanova str., Moscow, 117513, Russia; biartur2006@yandex.ru
- Поступила/Received 05.11.2025**
Поступила после рецензирования/Revised 25.11.2025
Принята в печать/Accepted 28.11.2025