Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова
2023, т. 123, №6, с. 129–134
https://doi.org/10.17116/jnevro2023123061129

S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry
2023, vol. 123, no. 6, pp. 129–134
https://doi.org/10.17116/jnevro2023123061129

Цифровые технологии в оценке неврологического статуса

© М.А. КУТЛУБАЕВ, И.А. МУСТАФИНА, О.В. ЛЮТОВ, Г.И. КАРИМОВА, А.Р. РАХМАТУЛЛИН

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Уфа, Россия

Резюме

Цифровые технологии (ЦТ) могут использоваться на всех этапах работы врача-невролога с пациентом. До очного осмотра врач может получить в онлайн-формате информацию об основных жалобах пациента и его анамнезе. С помощью ЦТ можно провести оценку общего состояния пациента, когнитивных функций, мышечной силы и особенностей движений, в том числе походки. В стадии разработки находятся методики, направленные на оценку чувствительности. Разработаны методы для оценки обоняния, зрения, движения глазных яблок и зрачковых реакций, мимической мускулатуры, слуха и равновесия, но отсутствуют методики для оценки тройничного нерва, движений головы, шеи и языка с использованием ЦТ. Оценка рефлексов с использованием ЦТ в настоящее время также не разработана. Использование ЦТ возможно при проведении телемедицинских консультаций, длительного мониторинга неврологического статуса пациента, а также при очном осмотре для получения дополнительных, более точных данных.

Ключевые слова: *цифровые технологии, неврология, диагностика, осмотр, телемедицина.*

Информация об авторах:
Кутлубаев М.А. — https://orcid.org/0000-0003-1001-2024
Мустафина И.А. — https://orcid.org/0000-0002-8314-9032
Лютов О.В. — https://orcid.org/0000-0003-1393-1122
Каримова Г.И. — https://orcid.org/0000-0001-8865-6538
Рахматуллин А.Р. — https://orcid.org/0000-0002-8342-3943
Автор, ответственный за переписку: Кутлубаев М.А. — e-mail: mansur.kutlubaev@yahoo.com

Как цитировать:
Кутлубаев М.А., Мустафина И.А., Лютов О.В., Каримова Г.И., Рахматуллин А.Р. Цифровые технологии в оценке неврологического статуса. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2023;123(6):129–134. https://doi.org/10.17116/jnevro2023123061129

Digital technologies in the assessment of neurological status

© M.A. KUTLUBAEV, I.A. MUSTAFINA, O.V. LYUTOV, G.I. KARIMOVA, A.R. RAKHMATULLIN

Bashkir State Medical University, Ufa, Russia

Abstract

Digital technologies (DT) can be used at all stages of the neurologist's work with the patient. The medical professional can obtain online information on the patient's complaints and history. DT may help to assess cognitive functions, muscular power, details of the movements including gate. The methods of the assessment of sensory functions are being currently developed. The methods of the assessment of the olfaction, vision, oculomotor function, pupillary reactions, mimic muscles, hearing and balance are also developed, however the methods of assessment of the function of trigeminal nerve, movement of the head, neck and tongue using DT are not available. The assessment of the reflexes using DT is not developed yet. The use of DT is possible in telemedicine, in long-term monitoring of the neurological status of the patient, as well as in the clinical exam in order to obtain additional, more detailed data.

Keywords: *digital technologies, neurology, diagnosis, exam, telemedicine.*

Information about the authors:
Kutlubaev M.A. — https://orcid.org/0000-0003-1001-2024
Mustafina I.A. — https://orcid.org/0000-0002-8314-9032
Lyutov O.V. — https://orcid.org/0000-0003-1393-1122
Karimova G.I. — https://orcid.org/0000-0001-8865-6538
Rakhmatullin A.R. — https://orcid.org/0000-0002-8342-3943
Corresponding author: Kutlubaev M.A. — e-mail: mansur.kutlubaev@yahoo.com

To cite this article:
Kutlubaev MA, Mustafina IA, Lyutov OV, Karimova GI, Rakhmatullin AR. Digital technologies in the assessment of neurological status. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry = Zhurnal nevrologii i psikhiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2023;123(6):129–134. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/jnevro2023123061129

Цифровые технологии (ЦТ) постепенно проникают во все сферы жизни человека. Не является исключением область медицины и здравоохранения. С целью ускоренного внедрения ЦТ, в том числе в социальную сферу, правительством Российской Федерации был принят Национальный проект «Цифровая экономика» на период с 2019 по 2024 гг. В его задачи входят создание условий для высокотехнологичного бизнеса, повышение конкурентоспособности страны на глобальном рынке, укрепление национальной безопасности и повышение качества жизни людей [1]. Реализация последней из упомянутых задач непосредственно связана с цифровизацией системы здравоохранения [1].

Внедрение ЦТ в систему здравоохранения включает такие примеры, как онлайн-запись пациентов на прием, телемедицинские консультации в форматах «врач-пациент», «врач-врач», автоматизация учетных записей медицинских работников, электронный документооборот. Все еще недостаточно распространены такие технологии, как интернет медицинский приборов, представляющий собой инфраструктуру умных устройств; использование сквозных технологий для обработки больших объемов медицинской информации и др. [1].

Пандемия новой коронавирусной инфекции COVID-19 оказала серьезное влияние на систему здравоохранения во всех странах мира [2, 3]. В частности, она стала стимулом для активного внедрения ЦТ в клиническую практику. Речь идет о таких технологиях, как проведение удаленных телеконсультаций, использование искусственного интеллекта для первичной интерпретации результатов КТ органов грудной клетки, видеонаблюдение с компьютерным зрением для оценки соблюдения масочного режима и др. [2]. Использование ЦТ в различных областях медицины имеет свои особенности. В данной статье будут рассмотрены вопросы использования ЦТ при оценке неврологического статуса пациента.

ЦТ в работе врача-невролога

ЦТ могут использоваться на всех этапах работы врача-невролога с пациентом. До очного осмотра врач может получить в онлайн-формате информацию об основных жалобах пациента, подготовить необходимый инструментарий для оценки конкретных аспектов неврологического статуса, запросить дополнительные данные (представить результаты замеров артериального давления, пульса и др.), ознакомиться с результатами ранее проведенных дополнительных методов обследований. ЦТ позволяют оптимизировать процесс сбора анамнеза. Он может быть облегчен с помощью активного или пассивного сбора данных. Активный сбор данных подразумевает непосредственное участие пациента в данном процессе, например ведение дневника пароксизмов при эпилепсии или мигрени, дневника приема препаратов, оценку самочувствия в динамике по определенной шкале (например, визуально-аналоговой). Пассивный сбор данных не требует активного участия в данном процессе пациента и включает регистрацию двигательной активности человека с помощью видеонаблюдения, данных с отслеживающих устройств на запястье и др. [4].

Оценка объективных показателей может проводиться путем синхронной и асинхронной регистрации различных параметров (артериальное давление, пульс, сатурация кислорода в крови, общая двигательная активность, характеристики походки, тремора и других гиперкинезов) в динамике. Между осмотрами пациент с помощью ЦТ может предоставлять врачу данные о самочувствии с использованием определенных шкал, об эффективности и переносимости лечения. Обратную связь от пациента врач может получить и после завершения очной работы, в случае острых заболеваний, не требующих многократного обращения за медицинской помощью. Использование ЦТ возможно как в амбулаторной практике, с передачей данных от пациента, находящегося в домашних условиях, так и в стационаре, для непрерывного мониторинга состояния пациента между обходами врача [5].

Оценка когнитивных функций

Использование ЦТ может применяться для оценки когнитивных функций. Многие стандартные тесты, такие как краткая шкала оценки психического статуса, тест Струпа, тест построения маршрута, тест на запоминание слов, имеют цифровые варианты и могут использоваться с помощью персонального компьютера (ПК) или смартфона. Психометрические свойства таких тестов достоверно коррелируют с результатами тестов в традиционной форме, но при этом могут проводиться без врача, либо самостоятельно самим пациентом, либо с помощью его родственников/ухаживающих [6, 7].

В связи с относительно широким распространением ЦТ в оценке когнитивных функций в последнее время появился термин «цифровой биомаркер» болезни, который определяется как объективные, поддающиеся количественной оценке данные, полученные через цифровые устройства, которые могут использоваться для прогнозирования и интерпретации исходов, связанных со здоровьем [8]. По другому определению, цифровым биомаркером является характеристика или набор характеристик, которые могут быть оценены с помощью цифровых медицинских технологий и выполняют роль индикатора нормально протекающего биологического процесса, патологического процесса и ответа на проводимое лечение [9].

Систематический обзор, проведенный Z. Ding и соавт. [10], продемонстрировал, что цифровые биомаркеры, выявленные в результате применения компьютеризированных тестов, могут использоваться для выявления умеренных и выраженных (дементных) когнитивных расстройств. Наибольшей чувствительностью характеризуются цифровые биомаркеры, связанные с оценкой регуляторных функций и памяти. В перспективе комбинированный анализ цифровых биомаркеров и анамнестических данных (возраст, этническая принадлежность, наследственная предрасположенность и др.) должен увеличить роль первых в ранней диагностике умеренных когнитивных нарушений и деменции [11].

Технологии, позволяющие отслеживать и анализировать разговоры пациента по смартфону, содержание его электронных писем и сообщений в различных социальных сетях и сервисах обмена мгновенными сообщениями, общую активность в сети Интернет, позволяют выявить на ранних стадиях когнитивные нарушения, в частности нарушения речи. На основании подобных данных в практику был введен термин «цифровое фенотипирование»,

которое представляет собой сбор информации о различных видах активности человека в сети Интернет для выявления паттернов, характерных для определенных патологических состояний, в основном из области неврологии и психиатрии [12]. В частности, предпринимаются попытки выявления цифрового фенотипа болезни Альцгеймера [12], что особенно актуально в свете перспектив внедрения патогенетической терапии, эффективной только на ранних стадиях болезни.

Динамика удара по клавишам может рассматриваться как один из цифровых маркеров психического состояния человека. По данным метаанализа H. Alfalahi и соавт. [13], оценка данного параметра может помочь в раннем выявлении и оценке изменений в состоянии пациентов с болезнью Альцгеймера, болезнью Паркинсона, а также умеренными с когнитивными нарушениями.

В последнее время появились новые тесты для оценки когнитивных функций, созданные с использованием ЦТ. Примером может служить тест «Цвет—форма», который оценивает скорость когнитивных процессов [14]. Перспективным также видится использование различных систем слежения, которые позволяют мониторировать активность повседневной жизни человека, косвенно указывая на наличие когнитивных нарушений. Другим перспективным направлением является оценка двигательных паттернов. В частности, регистрация характеристик движения с помощью электронных надеваемых устройств во время проведения пробы на ходьбу с параллельным выполнением двух заданий позволила выявить ранние признаки когнитивных нарушений у пожилых людей [15]. Тесты для оценки когнитивных функций, проводимые с помощью сенсорного экрана смартфона, также постепенно внедряются в клиническую практику неврологов для раннего выявления деменции у лиц с разным уровнем образования и владения языком [16].

К преимуществам использования ЦТ при оценке когнитивных функций можно отнести возможность проведения исследования без участия врача, большую степень объективности, а также возможность сбора данных в ходе повседневной жизни [4, 17].

Оценка краниальной иннервации

Использование ЦТ возможно для оценки функций только некоторых черепных нервов. Дистанционная оценка функции обонятельного нерва проводится с использованием специального набора запахов, собранных в буклет, заранее высылаемый пациенту с подробной инструкцией [18]. Более простая методика подразумевает оценку обоняния пациентом с использованием различных источников запахов, легко доступных в домашних условиях. Оценка осуществляется пациентом по степени «приятности» и интенсивности запаха по визуально-аналоговой шкале в формате онлайн. Данная методика стала особенно актуальной в последние годы в связи с высоким распространением новой коронавирусной инфекции COVID-19, которая часто приводит к нарушению обоняния [19].

Оценка функций зрительного анализатора с использованием ЦТ активно исследуется офтальмологами. В частности, предложены методики для проведения оценки остроты зрения с помощью специальных таблиц, способности различать цвета, полей зрения (цифровая периметрия) с использованием смартфонов [20, 21]. Использование камеры смартфона дает возможность провести самостоятельную съемку глазного дна для последующей дистанционной оценки состояния диска зрительного нерва, желтого пятна, а также сосудистой системы [20]. Примером может служить приложение для смартфонов D-EYE, которое позволяет оценить состояние диска зрительного нерва (соотношение площади экскавации к площади диска) для диагностики глаукомы [21].

Важная роль в оценке глазодвигательных функций принадлежит методике айтрекинга или видеоокулографии. Она позволяет оценить диаметр зрачков, его изменения, а также объем движения глазных яблок. Видеоокулография проводится с помощью специальных очков (мобильный вариант) или настольной установки, которые регистрируют данные с помощью технологии ближнего инфракрасного диапазона вместе с камерой высокого разрешения [22]. В настоящее время предложена видеоокулографическая методика оценки состояния пациентов с глазной формой миастении [23, 24], с рассеянным склерозом [25]. Предпринимаются попытки использования пупиллометрии в ранней диагностике аутизма, нейродегенеративных болезней, депрессии [22].

Исследование двигательной функций лицевого нерва возможно с помощью электронной системы распознавания лиц. Данный подход относительно широко используется в практике пластических хирургов [26], но может быть экстраполирован и на практику врача-невролога. Он позволяет оценить симметричность лица и подвижность мимической мускулатуры. С этой целью могут использоваться различные устройства: ПК, смартфоны и даже «умное» зеркало [27]. Инфракрасные сенсоры позволяют оценить ширину глазной щели, что особенно актуально при заболеваниях, сопровождающихся птозом, например при миастении [23]. В литературе имеются сообщения о целесообразности использования телемедицинских технологий в оценке степени прозопареза в ходе процесса реабилитации при нейропатии лицевого нерва [28].

Самостоятельная оценка слуха, а именно тональная пороговая аудиометрия по воздушной проводимости, может проводиться дистанционно. Она постепенно внедряется в сурдологической практике и может применяться в практике невролога. Сравнительные исследования подтвердили соответствие результатов аудиометрии, проведенной удаленно и традиционным способом [29, 30].

Функции вестибулярной системы могут исследоваться с помощью устройства отслеживания направления взгляда методом видеоокулографии, который позволяет оценить наличие нистагма, его направление и другие характеристики [31]. Для исследования равновесия могут использоваться различные надеваемые электронные устройства, например датчик ускорения, оценивающий положение тела, его отклонения, различные характеристики движения [32]. Оценка равновесия возможна также с помощью регистрирующих устройств, одеваемых на голову и ногу. Данные, полученные с помощью этой методики, достоверно коррелировали с показателями традиционной стабилометрии [33].

В настоящее время отсутствуют ЦТ, позволяющие удаленно оценить движения головы, шеи, языка, а также функцию желез внешней секреции. Однако в данном направлении активно ведутся разработки [4].

Оценка двигательной и чувствительной сфер

Методы оценки силы и объема движений с помощью ЦТ в основном разработаны для верхних конечностей. С этой целью используют цифровой динамометр. Его применение требует участия медицинского работника. Данная методика показала достаточно высокую надежность при исследовании объема движений и силы в мышцах плечевого пояса [34]. Объем движения верхних конечностей можно измерить с помощью специального приложения в смартфоне [35].

Объективную оценку сократительной способности мышц можно провести с помощью комбинированного использования цифровой динамометрии с удаленной регистрацией электромиограммы поверхностными электродами. Такой подход использовался в работе с маломобильными пациентами с боковым амиотрофическим склерозом [36].

Для оценки чувствительной сферы могут использоваться устройства для количественной оценки чувствительности, такие как NEURO TOUCH. Оно позволяет оценить порог тактильной, температурной и вибрационной чувствительности, а также определить кожную температуру. NEURO TOUCH в данный момент апробирован в ранней диагностике полинейропатии у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа [37]. В настоящее время предложен целый ряд приложений для оценки боли, однако возможность их использования в клинической практике требует дальнейшего изучения [38].

Внедрение ЦТ в практику

Несмотря на бурное развитие ЦТ, их внедрение в практическое здравоохранение происходит достаточно медленно, что, вероятно, связано с целым рядом факторов: недостаточной разработанностью методики проведения неврологического осмотра с использованием ЦТ, высокой стоимостью оборудования и программного обеспечения, нехваткой валидизированных цифровых инструментов медицинского назначения, консерватизмом врачей [4].

Внедрение ЦТ в осмотр пациента возможно 2 способами [4]. Первый получил название «более яркой свечи» (оптимизация традиционных подходов), второй — «электрической лампочки» (внедрение принципиально новых методов). В первом случае ЦТ используются в рамках классического неврологического осмотра, для получения более точных данных по состоянию нервной системы пациента. Во втором случае ЦТ существенно расширяют понятие неврологического осмотра, позволяя врачу работать с данными, получение которых в рамках стандартного неврологического осмотра невозможно [17]. Речь о длительном мониторинге различных физиологических параметров, особенностей двигательного поведения пациента, его активности в сети Интернет и др. [4].

В настоящее время предпринимаются попытки создания широкодоступных инструментов для оценки наиболее важных аспектов неврологического статуса. Приложение для планшетов и смартфонов «Цифровой неврологический осмотр» позволяет оценить и задокументировать некоторые аспекты неврологического статуса. При этом осмотр проводится без непосредственного участия врача-невролога. Пациент при этом действует согласно инструкциям [39]. Перспективным направлением является использование ЦТ для оптимизации ранней диагностики и реабилитации острых нарушений мозгового кровообращения в рамках телемедицинских консультаций [40, 41]. Примером может служить TeleStroke Mimic Score, разработанная в Mayo Clinic (Штат Аризона, США) для дифференциальной диагностики инсульта со схожими состояниями [41].

В современных условиях наиболее актуальным видится внедрение ЦТ в систему телемедицины. Например, в рамках телемедицинской консультации для дистанционной оценки неврологического статуса пациента, находящегося в медицинской организации более низкого уровня, в которой по какой-либо причине отсутствует врач-невролог (фельдшерско-акушерские пункты, сельские врачебные амбулатории, центральные районные больницы). ЦТ могут также использоваться в амбулаторной практике, для динамического наблюдения за пациентом, а также в стационаре для непрерывного мониторинга за состоянием больного.

Заключение

Таким образом, ЦТ не могут полностью заменить осмотр врача-невролога, но могут значительно облегчить его проведение, а также снабдить данными, которые не могут быть получены традиционными методами. Современное развитие технических наук позволяет внедрить ЦТ в оценку общего состояния пациента, когнитивных функций, силы и особенностей движений, в том числе походки. В стадии разработки находятся методики, направленные на оценку чувствительности. Сложнее ситуация с оценкой функций черепных нервов: в настоящее время разработаны методики для оценки обоняния, зрения, движения глазных яблок, мимической мускулатуры, слуха и равновесия с использованием ЦТ, но нет методик для оценки функции тройничного нерва, движений головы и шеи, языка. Оценка рефлексов с использованием ЦТ в настоящее время также не разработана.

В будущем необходимо исследовать подходы к оценке неврологического статуса с помощью ЦТ с использованием ограниченного количества устройств и программного обеспечения. Важно выделить те аспекты неврологического статуса, в оценке которых наиболее целесообразно использование ЦТ.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Башкирского государственного медицинского университета (ПРИОРИТЕТ-2030), а также за счет гранта Российского научного фонда №21-75-00065. The work was carried out at the expense of the Strategic academic leadership of the Bashkir State th Medical University (PRIORITET-2030), as well as also at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 21-75-00065.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. *Цифровая экономика РФ*. [архив]. Ссылка активна на 26.12.22. *Digital Economy of the Russian Federation*. [archive]. The link is active on 12/26/2022. (In Russ.). https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/
2. Safavi K, Mathews SC, Bates DW, et al. Top-Funded Digital Health Companies And Their Impact On High-Burden, High-Cost Conditions. *Health Aff (Millwood)*. 2019;38(1):115-123. https://doi.org/10.1377/hlthaff.2018.05081
3. Рахматуллин А.Р., Кутлубаев М.А. Анализ клинико-лабораторных характеристик пациентов с ишемическим инсультом, ассоциированным с COVID-19. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски*. 2022;122(11-2):34-37. Rahmatullin AR, Kutlubaev MA. An analysis of clinical and laboratory characteristics of patients with ischemic stroke and COVID-19. *Zhurnal Nevrologii i Psikhiatrii im. S.S. Korsakova*. 2022;122(11-2):34-37. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/jnevro202212211234
4. Cohen AB, Nahed BV. The Digital Neurologic Examination. *Digit Biomark*. 2021;5(1):114-126. https://doi.org/10.1159/000515577
5. Петухова Н.В., Фархадов М.П., Замерград М.В., Грачев С.П. Цифровые технологии в диагностике и лечении неврологических заболеваний. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2019;11(4):104-110. Petukhova NV, Farkhadov MP, Zamegrad MV, Grachev SP. Digital technologies in the diagnosis and treatment of neurological diseases. *Nevrologiya, neiropsikhiatriya, psikhosomatika = Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2019;11(4):104-110. (In Russ.). https://doi.org/10.14412/2074-2711-2019-4-104-110
6. Jongstra S, Wijsman LW, Cachucho R, et al. Cognitive Testing in People at Increased Risk of Dementia Using a Smartphone App: The iVitality Proof-of-Principle Study. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2017;5(5):e68. https://doi.org/10.2196/mhealth.6939
7. Chinner A, Blane J, Lancaster C, et al. Digital technologies for the assessment of cognition: a clinical review. *Evid Based Ment Health*. 2018;21(2):67-71. https://doi.org/10.1136/eb-2018-102890
8. Piau A, Wild K, Mattek N, Kaye J. Current State of Digital Biomarker Technologies for Real-Life, Home-Based Monitoring of Cognitive Function for Mild Cognitive Impairment to Mild Alzheimer Disease and Implications for Clinical Care: Systematic Review. *J Med Internet Res*. 2019;21(8):e12785. https://doi.org/10.2196/12785
9. Center for Drug Evaluation and Research. Patient-Focused Drug Development: Collecting Comprehensive and Representative. Input. 2020. Accessed on 1 June 2022. https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/patient-focuseddrug-development-collecting-comprehensive-and-representative-input
10. Ding Z, Lee TL, Chan AS. Digital Cognitive Biomarker for Mild Cognitive Impairments and Dementia: A Systematic Review. *J Clin Med*. 2022;11(14):4191. https://doi.org/10.3390/jcm11144191
11. Harms RL, Ferrari A, Meier IB, et al. Digital biomarkers and sex impacts in Alzheimer's disease management — potential utility for innovative 3P medicine approach. *EPMA J*. 2022;13(2):299-313. https://doi.org/10.1007/s13167-022-00284-3
12. Milne R, Costa A, Brenman N. *Digital Phenotyping and the (Data) Shadow of Alzheimer's Disease*. Big Data & Society, Jan. 2022. https://doi.org/10.1177/20539517211070748
13. Alfalahi H, Khandoker AH, Chowdhury N, et al. Diagnostic accuracy of keystroke dynamics as digital biomarkers for fine motor decline in neuropsychiatric disorders: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep*. 2022;12(1):7690. https://doi.org/10.1038/s41598-022-11865-7
14. Brouillette RM, Foil H, Fontenot S, et al. Feasibility, reliability, and validity of a smartphone based application for the assessment of cognitive function in the elderly. *PLoS One*. 2013;8(6):e65925. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065925
15. Zhou H, Park C, Shahbazi M, et al. Digital Biomarkers of Cognitive Frailty: The Value of Detailed Gait Assessment Beyond Gait Speed. *Gerontology*. 2022;68(2):224-233. https://doi.org/10.1159/000515939
16. Giaquinto F, Battista P, Angelelli P. Touchscreen Cognitive Tools for Mild Cognitive Impairment and Dementia Used in Primary Care Across Diverse Cultural and Literacy Populations: A Systematic Review. *J Alzheimers Dis*. 2022;90(4):1359-1380. https://doi.org/10.3233/JAD-220547
17. Beattie ZT, Gothard S, Barnes LL, et al. The Collaboration and Harmonization of Digital Biomarkers for Alzheimer's Research. *Alzheimers Dement*. 2022;18(suppl 2):e067984. https://doi.org/10.1002/alz.067984
18. Snitz K, Perl O, Honigstein D, et al. SmellSpace: An Odor-Based Social Network as a Platform for Collecting Olfactory Perceptual Data. *Chem Senses*. 2019;44(4):267-278. https://doi.org/10.1093/chemse/bjz014
19. Snitz K, Honigstein D, Weissgross R, et al. An olfactory self-test effectively screens for COVID-19. *Commun Med (Lond)*. 2022;2:34. https://doi.org/10.1038/s43856-022-00095-7
20. Yuen J, Pike S, Khachikyan S, Nallasamy S. *Telehealth in Ophthalmology*. In: Linwood SL, editor. Digital Health [Internet]. Brisbane (AU): Exon Publications; 2022 Apr 29. Chapter 4.
21. Muhsen S, Roto A, Al-Sabbagh MQ, et al. Smartphone ophthalmoscopy versus slit-lamp biomicroscopy for optic nerve head evaluation: A digital apparatus into medical education. *Eur J Ophthalmol*. 2022;11206721221113827. https://doi.org/10.1177/11206721221113827
22. Hu T, Wang X, Xu H. Eye-Tracking in Interpreting Studies: A Review of Four Decades of Empirical Studies. *Front Psychol*. 2022;13:872247. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.872247
23. Azri M, Young S, Lin H, et al. Diagnosis of Ocular Myasthenia Gravis by means of tracking eye parameters. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2014;2014:1460-1464. https://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6943876
24. Nguyen MNL, van der Walt A, Fielding J, et al. Tracking Eye Movements for Diagnosis in Myasthenia Gravis: A Comprehensive Review. *J Neuroophthalmol*. 2022;42(4):428-441. https://doi.org/10.1097/WNO.0000000000001668
25. Cohen M, Hesse S, Polet K, et al. Lebrun-Frenay C. Reliability of mobile video-oculography in multiple sclerosis patients using an iPad: A prospective validation study. *Mult Scler Relat Disord*. 2022;64:103944. https://doi.org/10.1016/j.msard.2022.103944
26. Morisada MV, Tollefson TT, Shaye DA, Steele TO. The digital doctor: telemedicine in facial plastic surgery. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*. 2021;29(4):271-276. https://doi.org/10.1097/MOO.0000000000000722
27. Miotto R, Danieletto M, Scelza JR, et al. Reflecting health: smart mirrors for personalized medicine. *NPJ Digit Med*. 2018;1:62. https://doi.org/10.1038/s41746-018-0068-7
28. de Sire A, Marotta N, Agostini F, et al. Telerehabilitation Approach to Chronic Facial Paralysis in the COVID-19 Pandemic Scenario: What Role for Electromyography Assessment? *J Pers Med*. 2022;12(3):497. https://doi.org/10.3390/jpm12030497
29. Wasmann JW, Pragt L, Eikelboom R, Swanepoel W. Digital Approaches to Automated and Machine Learning Assessments of Hearing: Scoping Review. *J Med Internet Res*. 2022;24(2):e32581. https://doi.org/10.2196/32581
30. Whitton JP, Hancock KE, Shannon JM, Polley DB. Validation of a Self-Administered Audiometry Application: An Equivalence Study. *Laryngoscope*. 2016;126(10):2382-2388. https://doi.org/10.1002/lary.25988
31. Kumar D, Dutta A, Das A, et al. SmartEye: Developing a Novel Eye Tracking System for Quantitative Assessment of Oculomotor Abnormalities. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2016;24(10):1051-1059. https://doi.org/10.1109/TNSRE.2016.2518222
32. Zhang Y, Wang H, Yao Y, et al. Walking stability in patients with benign paroxysmal positional vertigo: an objective assessment using wearable accelerometers and machine learning. *J Neuroeng Rehabil*. 2021;18(1):56. https://doi.org/10.1186/s12984-021-00854-y
33. Yamanobe Y, Fujioka M, Ohashi M, Ozawa H. Potential Usefulness of Tracking Head Movement via a Wearable Device for Equilibrium Function Testing at Home. *J Med Syst*. 2022;46(11):80. https://doi.org/10.1007/s10916-022-01874-4
34. Cadogan A, Laslett M, Hing W, et al. Reliability of a new hand-held dynamometer in measuring shoulder range of motion and strength. *Man Ther*. 2011;16(1):97-101. https://doi.org/10.1016/j.math.2010.05.005
35. Shin SH, Ro du H, Lee OS, et al. Within-day reliability of shoulder range of motion measurement with a smartphone. *Man Ther*. 2012;17(4):298-304. https://doi.org/10.1016/j.math.2012.02.010

36. Fanella G, De Salvo G, Frasca V, et al. Inghilleri, Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS): Telemedicine system for home care and patient monitoring. *Clinical Neurophysiology*. 2019;130(1):9-10. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2018.09.066

37. Riddhi D, Jebasingh F, Thomas N, et al. NEURO TOUCH: A novel digital device for assessment and screening of peripheral neuropathy. *Foot (Edinb)*. 2022;51:101888. https://doi.org/10.1016/j.foot.2021.101888

38. Shetty A, Delanerolle G, Zeng Y, et al. A systematic review and meta-analysis of digital application use in clinical research in pain medicine. *Front Digit Health*. 2022;4:850601. https://doi.org/10.3389/fdgth.2022.850601

39. Hoang TH, Zehni M, Xu H, et al. Towards a Comprehensive Solution for a Vision-Based Digitized Neurological Examination. *IEEE J Biomed Health Inform*. 2022;26(8):4020-4031. https://doi.org/10.1109/JBHI.2022.3167927

40. Haji Mukhti MI, Ibrahim MI, Tengku Ismail TA, et al. Exploring the Need for Mobile Application in Stroke Management by Informal Caregivers: A Qualitative Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(19):12959. https://doi.org/10.3390/ijerph191912959

41. Carlin R, Zhang N, Demaerschalk BM. Validation of the Telestroke Mimic Score in Mayo Clinic Population. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2021;30(10):106021. https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2021.106021

Поступила 27.12.2022
Received 27.12.2022
Принята к печати 30.01.2023
Accepted 30.01.2023