

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-3-24-34>

# Дистанционные телемедицинские технологии в детской неврологии

Литературный обзор

**А.И. Шадеркина<sup>1,2</sup>, М.В. Алексеева<sup>2</sup>, Т.Т. Батышева<sup>2</sup>, Ю.А. Климов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова Минздрава России, Институт клинической медицины; д. 8, ст. 2, ул. Трубецкая, Москва, 119991, Россия.

<sup>2</sup> Научно-практический центр детской психоневрологии Департамента здравоохранения города Москвы, д. 74, Мичуринский пр-т, г. Москва, 119602, Россия

<sup>3</sup> Российский государственный социальный университет, ул. Вильгельма Пика, д. 4, стр. 1, ул. Вильгельма Пика, Москва, 129226, Россия

**Контакт:** Шадеркина Анастасия Игоревна, [Nastyashade01@yandex.ru](mailto:Nastyashade01@yandex.ru)

## Аннотация:

**Введение.** Неврологические заболевания вносят значимый вклад в общую заболеваемость. Например, в Москве в 2020 году общая заболеваемость болезнями нервной системы у детей составила 7637,1 на 100 000 человек. Хроническое течение заболеваний нервной системы, необходимость длительной реабилитации определяют широкое распространение цифровых технологий в данной области.

**Материалы и методы.** Литературный обзор проводился в базе данных PubMed. Критериями включения исследований являлось использование цифровых технологий и участие пациентов до 18 лет в апробации и оценке эффективности данных методов.

**Результаты.** В данной работе был проведен обзор применения цифровых технологий в области таких заболеваний, как детский церебральный паралич (ДЦП), эпилепсия, головные боли, включая мигрень, и рассеянный склероз. Были описаны современные носимые устройства диагностики и нейровизуализации. В терапии ДЦП высокий интерес получают домашние варианты реабилитации. Наиболее частым направлением, в котором используется дистанционный мониторинг, является мониторинг хронических головных болей. В данной области создано большое количество доступных решений для выявления причин и триггеров развития мигрени, головных болей напряжения, например, цифровые дневники. Телемедицинские консультации расширяют доступ пациентов к неврологической и нейрохирургической помощи, и в последнее время отмечается увеличение частоты применения телеконсультаций.

**Заключение.** Таким образом, в настоящее время наблюдается активное развитие цифровых технологий в детской неврологии. Телемедицинские консультации, технологии виртуальной и дополненной реальности, использование приложений для смартфона и связанных с ним устройств становятся новыми качественными и объективными методами ведения неврологических пациентов.

**Ключевые слова:** детская неврология; реабилитация; дистанционный мониторинг; виртуальная реальность.

**Для цитирования:** Шадеркина А.И., Алексеева М.В., Батышева Т.Т., Климов Ю.А. Дистанционные телемедицинские технологии в детской неврологии. Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения 2023;9(3):24-34; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-3-24-34>

## Remote telemedicine technologies in pediatric neurology

### Literature review

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-3-24-34>

**A.I. Shaderkina<sup>1,2</sup>, M.V. Alekseeva<sup>2</sup>, T.T. Batysheva<sup>2</sup>, Klimov Yu.A.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov of the Ministry of Health of Russia, Institute of Clinical Medicine; 8, art. 2, st. Trubetskaya, Moscow, 119991, Russia.

<sup>2</sup> Scientific and Practical Center for Pediatric Psychoneurology of the Moscow Department of Health, 74, Michurinsky Prospekt, Moscow, 119602, Russia

<sup>3</sup> Russian State Social University, st. Wilhelm Pick, 4, building 1, st. Wilhelm Pieck, Moscow, 129226, Russia

**Contact:** Shaderkina I. Anastasia, NastyaShade01@yandex.ru

**Abstract:**

**Introduction.** Neurologic disorders make a significant contribution to overall morbidity. For example, in recent years in Moscow, the overall incidence of diseases of the nervous system in children is 7637.1 per 100.000 people. The chronic course of neurologic disorders and the need for long-term rehabilitation determine the widespread use of digital technologies in this area.

**Materials and methods.** A literature review was conducted in the PubMed database. The inclusion criteria for studies were the use of digital technologies and the participation of patients under 18 years of age in testing and evaluating the effectiveness of these methods.

**Results.** In this paper we reviewed the use of digital technologies in disorders such as cerebral palsy (CP), epilepsy, headaches including migraines, and multiple sclerosis. Modern wearable diagnostic and neuroimaging devices have been described. In the treatment of cerebral palsy, home rehabilitation options are receiving high interest. The most common area in which remote monitoring is used is the chronic headaches monitoring. Many available solutions have been developed in this area, such as digital diaries, which are used to identify the causes and triggers of migraines exacerbations and tension headaches. Telemedicine consultations increase patient access to neurological and neurosurgical care, and use of teleconsultations is increasing rapidly in recent years.

**Conclusion.** Thus, there is currently an active development of digital technologies in pediatric neurology. Telemedicine consultations, virtual and augmented reality technologies, and the use of applications on smartphones and related devices are becoming new high-quality and objective methods of patient management.

**Key words:** pediatric neurology; rehabilitation; remote monitoring; virtual reality.

**For citation:** Shaderkina A.I., Alekseeva M.V., Batysheva T.T., Klimov Yu.A. Remote telemedicine technologies in pediatric neurology. Russian Journal of Telemedicine and E-Health 2023;9(3):24-34; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-3-24-34>

## ■ ВВЕДЕНИЕ

Неврологические заболевания включают в себя поражения центральной и периферической нервной систем и вносят значимый вклад в общую заболеваемость [1]. Например, в Москве, согласно данным НИИ организации здравоохранения и медицинского менеджмента, общая заболеваемость болезнями нервной системы у детей составила 7637,1 на 100 000 человек [2]. В Соединенных Штатах Америки около 100 миллионов человек хотя бы раз в жизни болели каким-либо неврологическим заболеванием [3]. Особенности течения заболеваний нервной системы являются высокая доля хронических вариантов и необходимость в постоянном контроле симптомов и проведении реабилитационных мероприятий. Все это требует высокого комплаенса пациентов, а в случае несовершеннолетних пациентов, их родителей.

Длительность течения заболеваний, а также значимое снижение качества жизни во время обострений, например, мигрени или рассеянного склероза, ведет к необходимости повышения комплаенса пациентов и их доступа к медицинской помощи. Одним из вариантов ре-

шения данных проблем является применение технологий дистанционного мониторинга, телемедицины, разработки новых способов реабилитации, а в ряде случаев диагностики, в домашних условиях. В данном обзоре мы рассмотрим возможности применения цифровых технологий в детской неврологии.

## ■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обзор был проведен в базе данных PubMed по запросам, содержащим такие формулировки, как «pediatric neurology telemedicine», «neurological telemonitoring», в том числе в конкретных нозологиях – детский церебральный паралич (ДЦП), хронические головные боли, эпилепсия и рассеянный склероз. В работу были включены оригинальные клинические исследования, в том числе рандомизированные контролируемые исследования, серии случайный контроль, серии клинических случаев, а также симулятивные исследования. Критериями включения работ являлось участие пациентов от 0 до 18 лет и применение телемедицинских и иных цифровых технологий для диагностики, лечения и контроля течения неврологических заболеваний. Также в обзор были включены открытые ►►

интернет-источники разработчиков цифровых решений для ведения пациентов неврологического профиля. В окончательный анализ вошли 52 статьи.

## ■ РЕЗУЛЬТАТЫ

Особенности течения подавляющего большинства заболеваний в детском возрасте связаны с трудностью в диагностике из-за ограничений речевых навыков пациентов, особенно у детей дошкольного возраста. Кроме того, зачастую ответственность за здоровье детей, качество выполнения назначений врача ложатся на родителей, что требует включения в процесс терапии как самого пациента, так и его законных представителей. Ведение педиатрических пациентов неврологического профиля осложняется также необходимостью длительного соблюдения назначений, и в настоящее время реабилитационные мероприятия, направленные на коррекцию и развитие моторных навыков, поведенческая терапия проводятся в стационаре, что требует длительного нахождения ребенка в лечебном учреждении, а также более частых госпитализаций [4]. Например, для пациентов с детским церебральным параличом характерны более длительные сроки госпитализации по сравнению с другими педиатрическими пациентами, получавшими медицинскую помощь в стационаре [5]. Длительное нахождение в больнице может оказывать отрицательное влияние на соматическое и психологическое здоровье детей, снижать качество жизни и препятствовать процессу социализации, а также значительно повышать экономическую нагрузку на здравоохранение.

Специализированные программы для домашней реабилитации и применение телемедицинских технологий являются потенциальными инструментами для преодоления описанных проблем. Телемедицинские консультации получили широкое распространение в практике врачей-неврологов. Например, Saccioti С и соавт. провели исследование по эффективности телемедицинских консультаций для педиатрических пациентов с опухолями центральной нервной системы. По результатам проведения телемедицинских приемов, 97% участников отметили легкость понимания объяснений врача, 95% отме-

тили, что время консультаций было достаточным, 97% сообщили об удобном графике проведения телеконсультаций [6].

В аналогичном исследовании Libdeh АА и соавт. был проведен ретроспективный анализ 58 дистанционных консультаций, выполненных детскими неврологами. Основными жалобами пациентов являлись головные боли и тремор. В 56,9% заключение врача не требовало дальнейшего очного посещения клиники. Авторы считают эффективным применение телеконсультаций для снижения очной нагрузки на педиатрические неврологические отделения, распределения потоков пациентов и более быстрого получения пациентами консультаций и медицинской помощи соответственно [7].

В нейрохирургии телемедицинские консультации также применяются для повышения доступности медицинской помощи. Видеоконсультация позволяет провести визуальный осмотр пациента для определения моторных нарушений, однако общим ограничением для врачей является невозможность проведения неврологического осмотра для оценки рефлексов [8]. Телемедицинские консультации позволяют применять мультидисциплинарный подход, включая в работу неврологов и нейрохирургов, а также предоставлять медицинскую помощь в регионах с ограниченным доступом к ней. Например, в работе Ellis MJ представлен опыт применения удаленных консультаций педиатрических пациентов с травмами головы. Из 20 пациентов по результатам дистанционных приемов только 1 ребенку была показана очная медицинская помощь, тогда как остальные получили назначения без посещения больницы. Снижение затрат по сравнению с очным приемом для пациентов из удаленных населенных пунктов составило 40 972,94\$ [9].

### ***Детский церебральный паралич***

Детский церебральный паралич (ДЦП) – это группа стабильных нарушений развития моторики и поддержания позы, ведущих к двигательным дефектам, обусловленным непрогрессирующим повреждением и/или аномалией развивающегося головного мозга у плода или новорожденного ребенка [10]. Основной причиной ДЦП являются гипоксически-ишемические по-

ражения головного мозга в перинатальном периоде. В когортном исследовании Nakaо M и соавт. было продемонстрировано, что наиболее часто брадикардия плода вела к развитию ДЦП, и причиной брадикардии в 90% случаев выступала отслойка плаценты [11]. Наблюдение за состоянием плода является основой профилактики ДЦП, и существующие технологии позволяют обеспечить длительный мониторинг ряда показателей плода, таких как ЧСС, для своевременного вмешательства при развитии гипоксии [12]. Например, в работе Evans MI был разработан индекс для определения риска развития ДЦП на основании данных кардиотокографии и материнского анамнеза [13]. Развитие данных технологий приводит к возможности длительного мониторинга состояния плода в домашних условиях [14, 15].

Ключевыми проявлениями ДЦП являются нарушения моторного развития ребенка. Диагностику данного состояния возможно осуществлять дистанционно с помощью искусственного интеллекта (ИИ). Например, в работе Chung H-W и соавт. была разработана модель ИИ для определения ключевых точек по видеозаписи младенца. Алгоритм определяет 13 ключевых точек на теле ребенка и формирует 2D модель ребенка, на основании которой возможно автоматическое выявление нарушений позы в соответствии с текущим возрастом [16].

Одним из симптомов ДЦП являются дистонии – произвольные сокращения мышц-антагонистов, которые приводят к формированию неправильного положения тела. Выраженность дистонии может отличаться в зависимости от различных факторов, таких как эмоциональное состояние ребенка, стресс, усталость. Hartog Dd и соавт. был предложен домашний мониторинг дистонии с помощью камеры смартфона и четырех датчиков-акселерометров. Программа включает в себя оценку по шкале выраженности дистонии (Dyskinesia Impairment Scale) с помощью глубокого машинного обучения. Такая модель позволяет проводить длительные наблюдения за пациентом, а также повышает объективность исследования, поскольку рутинно дистония в настоящее время определяется врачом визуально [17].

Обучение навыку хватания предметов является обязательным во время первого года

жизни ребенка, и отклонения от нормы могут быть связаны как с повышением тонуса мышц, так и его снижением, и оба варианта могут отражать неврологические заболевания, включая ДЦП. Мониторинг навыков хватания необходим для оценки развития ребенка. Например, возможно использование перегородки детского стульчика или игрушки со встроенными датчиками давления, которые позволяют отследить не только момент взятия предмета, но и силу, с которой ребенок берет в руку предмет. Проспективное исследование 2832 моментов захвата предмета у 12 младенцев показало достоверное увеличение пиковой, средней силы хватания, а также времени удержания предмета по мере взросления ребенка ( $p < 0,001$ ). Данная технология может применяться при наблюдении за развитием ребенка в первый год жизни, а также являться важным диагностическим инструментом для объективного своевременного выявления задержки развития (рис.1) [18]. ►

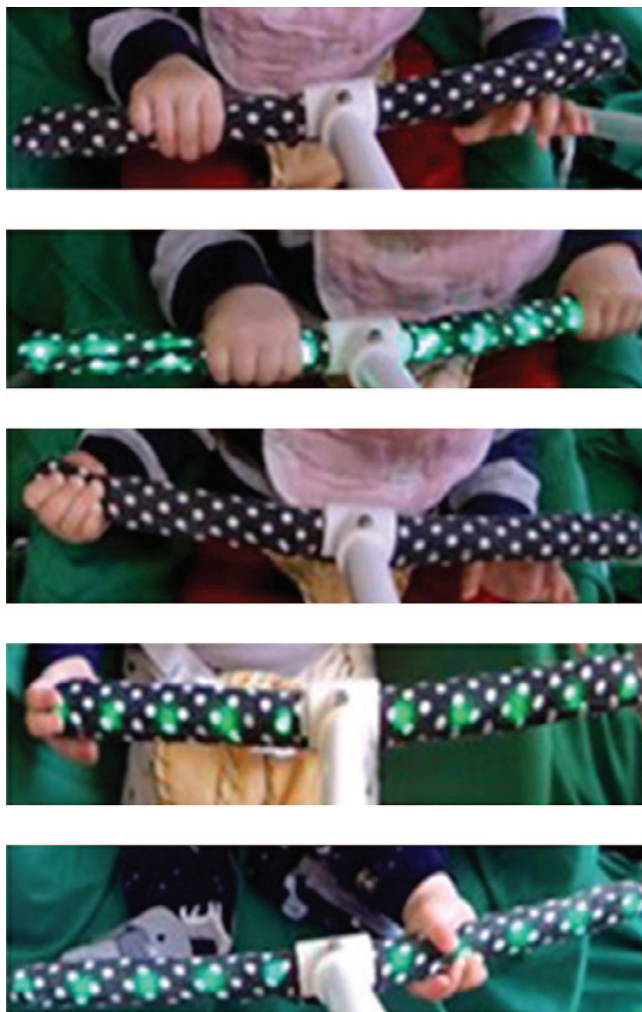


Рис.1. Варианты захвата перегородки ребенком [18]  
Fig. 1. Types of bar grasping by child [18]

Для сохранения и развития моторных навыков необходимо постоянное проведение реабилитаций у пациентов с ДЦП. Реабилитационные программы, выполняемые врачами-специалистами, имеют наиболее высокую эффективность, однако требуют нахождения пациента в стационаре. Вне лечебного учреждения эффективность реабилитации определяется комплаенсом родителей и самого ребенка, готовностью ежедневного выполнения упражнений. Для повышения заинтересованности детей могут быть использованы видеоигры. Например, в работе Chan-V'quez D и соавт. было предложено использование видеоигры с отслеживанием движений для выполнения упражнений на верхние конечности. Из 4 участников исследования 3 пациента полностью прошли 12-недельный курс, при этом 2 ребенка превзошли изначально выбранные целевые показатели. Данная работа показала потенциал применения цифровых технологий в домашней реабилитации, а также повышения личной заинтересованности несовершеннолетнего пациента в ней [19].

Аналогичное исследование применения телереабилитации было проведено Beani E и соавт. Tele-UPCAT (Tele-monitored UPper Limb Children Action Observation Training – обсервационная двигательная тренировка для верхних конечностей) состоит из двух моделей:

1. Обсервационный модуль – в данном разделе детям на персональном компьютере были показаны видео правильного выполнения определенных движений верхних конечностей;

2. Модуль моторного выполнения – пациент самостоятельно выполняет упражнения с помощью различных объектов и игрушек, данные фиксируются с помощью сенсоров на запястьях.

Данная программа выполнялась ежедневно на протяжении 15 дней, и, по результатам исследования, 80% сессий были завершены в запланированное время, 95% участников отметили удобность выполнения упражнения. Таким образом, данная программа может успешно применяться для домашней реабилитации при поражении верхних конечностей [20].

Также возможно выполнение реабилитации нижних конечностей, в частности, для снижения спастичности и предупреждения формирования патологических установок стоп, которые значительно снижают возможности пациента для раз-

вития навыков поддержания вертикального положения тела. В работе Coley C и соавт. была разработана роботическая платформа для стопы и программа-видеоигра для компьютера, управление которой проводится с помощью давления стопы на платформу. Уровень приверженности участников составил 72%, у большинства пациентов отмечилось повышение силы дорсального сгибания лодыжки [21].

Технологии виртуальной реальности (VR) также могут применяться у пациентов с ДЦП. Например, возможно одновременное использование VR и тредмилл тренировок для реабилитации [22]. Метаанализ продемонстрировал эффективность VR для реабилитации пациентов с ДЦП, и наибольший положительный эффект достигался в контроле баланса [23]. Roberts H и соавт. разработали программу реабилитации с применением дополненной реальности и экзоскелета для пациентов с детской гемиплегией. Программа была направлена на улучшение моторных функций верхних конечностей, оценка эффективности проводилась с помощью шкал Assisting Hand Assessment и Мельбурнская оценка унилатеральных функций рук. По результатам 10-дневной реабилитации, отмечалось статистически значимое улучшение бимануальных навыков [24]. Таким образом, технологии виртуальной реальности имеют высокий потенциал для использования в реабилитации пациентов, имеющих двигательные нарушения, и в ряде случаев могут быть совмещены с другими методиками реабилитации.

### **Эпилепсия**

Эпилепсия – это тяжелое заболевание, общая распространенность которого во всем мире составляет более 50 миллионов человек, у детей в возрасте 5-9 лет встречается в 374,8 случаях на 100000 населения [25]. ЭЭГ является золотым стандартом диагностики эпилепсии, и в ряде случаев показан видео-ЭЭГ мониторинг, который в настоящее время может быть проведен дома.

Одним из ограничений домашнего видео-ЭЭГ мониторинга является невозможность своевременного оказания медицинской помощи пациенту, поэтому в данном варианте исследования пациент продолжает принимать свои противоэпилептические препараты. Домашний видео-

ЭЭГ мониторинг подходит для диагностики резистентных эпилепсий, поскольку, несмотря на прием медикаментозной терапии, приступы не исчезают. Рекомендованная продолжительность мониторинга у детей в таком случае составляет 2 недели для выявления 1 приступа эпилепсии и 8 недель для выявления 5 приступов [26].

Несмотря на то, что ЭЭГ является основным методом диагностики эпилепсии и отдельных приступов, возможно применение иных инструментальных методов, более подходящих для домашнего мониторинга. Например, возможно использование данных, получаемых с помощью электрокардиографии (ЭКГ) и акселерометра. В исследовании Hegarty-Craver M и соавт. ЭКГ позволило выявить 11/12 генерализованных приступов, а также 7/13 фокальных приступов. Изолированное применение акселерометра не позволило выявить эпилептические приступы, однако совместное применение с ЭКГ ускорило время выявления 4 генерализованных приступов [27].

Основными состояниями, которые необходимо мониторировать у пациента с эпилепсией, являются приступы. Особенно тяжелые проявления характерны для генерализованных тонико-

клонических приступов. Engelgeer A и соавт. провели клинко-экономическую оценку прибора NightWatch, направленного на мониторинг генерализованных приступов у детей с резистентной эпилепсией ночью. Данный прибор состоит из фотоплетизмографа и акселерометра, который фиксирует типичные для генерализованных приступов движения. В исследование были включены 41 ребенок (44% женского пола), средний возраст которых составил 9,8 лет. Применение данного устройства показало 72% вероятность экономической эффективности, и стоимость лечения снизилась на 775€ на одного пациента. Также отмечалось снижение стресса у родителей и опекунов [28].

В ряде случаев для домашнего мониторинга достаточно применения смартфона. Например, в статье Davies EH и соавт. мобильное приложение и браслет были использованы для мониторинга качества сна, физической активности и ЧСС. Родители или опекуны детей в приложении отмечали количество приступов. Смартфоны и браслеты были выданы участникам, поскольку данное исследование проводилось в небольшом населенном пункте в экономически развивающейся стране, и у большинства населения ▶

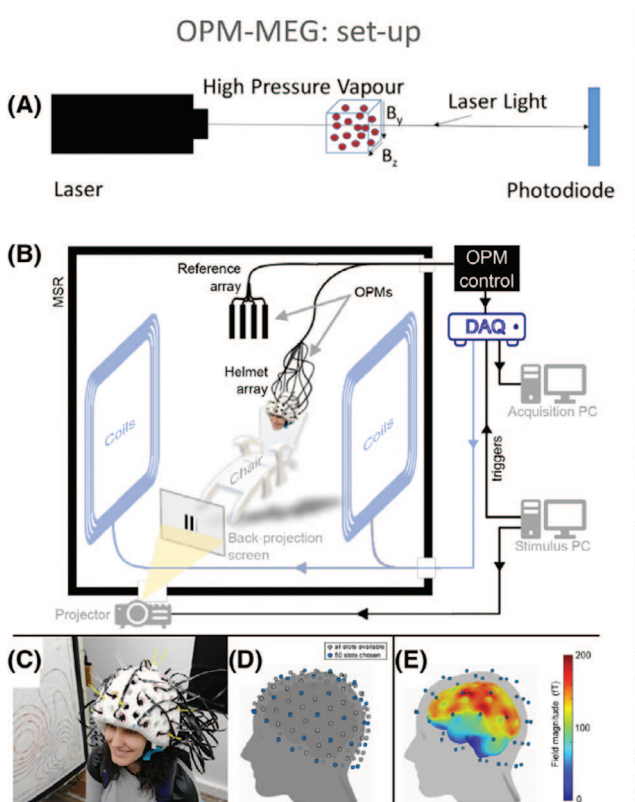
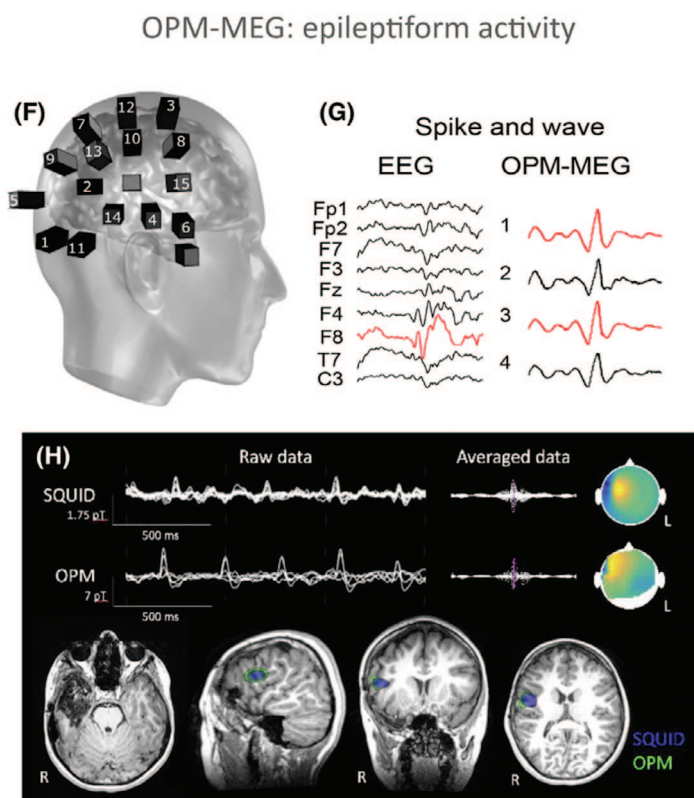


Рис.2. Носимый аппарат для магнитоэнцефалографии [30]  
Fig. 2. Wearable device for magnetoencephalography [30]



доступ к технологиям отсутствует. Данный упрощенный способ домашнего мониторинга является достаточным для удаленного контроля течения эпилепсии специалистами. В данном исследовании 79% родителей отметили в приложении эпизоды эпилептических приступов, и средняя вовлеченность участников составила 57,1%. Авторы считают, что домашний мониторинг эпилепсии в детском возрасте имеет потенциал применения в практике, и относительно невысокие показатели вовлеченности могут быть связаны, в данном случае, с отсутствием опыта использования смартфонов и иных девайсов участниками [29].

Некоторые разработки в области нейровизуализации позволяют значительно уменьшить размеры аппарата и сделать его мобильным. Например, в работе Pedersen M и соавт. предложена разработка носимого магнитоэнцефалографа, который позволит в режиме реального времени длительно записывать активность нейронов и создавать карту активности головного мозга. Данный аппарат может быть использован для диагностики эпилепсии у детей с когнитивными нарушениями без использования наркоза, который необходим в МРТ-диагностике (рис. 2) [30].

Помимо своевременной диагностики эпилептических приступов, в ведении пациентов с эпилепсией необходим также тщательный подбор медикаментозной терапии. Одним из способов контроля лечения является анализ крови с определением концентрации противоэпилептических препаратов в крови. Рутинным способом является лабораторное измерение показателей, однако возможно использование анализа сухих пятен крови. Исследование по сравнению эффективности обоих методов показало сопоставимые результаты, наиболее высокая точность диагностика была достигнута для леветирацетама [31].

### **Головные боли и мигрень**

Головная боль и мигрень имеют высокую распространенность в детской популяции. Согласно существующим исследованиям, в развитых странах распространенность головной боли, характеризующейся минимум одним эпизодом в течение года, среди детей в возрасте от 10 до 18 лет составляет 75,7%, и данный показатель

повышается по мере взросления. Мигрень встречается в 24,2% случаев [32]. Исследование 2706 детей и подростков продемонстрировало, что у 36,6% приступы головной боли происходят минимум один раз в месяц [33]. Кроме того, исследование Wilkes M и соавт. показало, что хронические головные боли снижают качество жизни у детей и подростков вне зависимости от пола [34]. Значительное влияние головной боли и, в частности, мигрени на повседневную жизнь ведет к необходимости качественного контроля приступов, подбора медикаментозной терапии и наблюдения за состоянием здоровья ребенка.

В исследовании Sharawat IK и соавт. для диагностики мигрени у детей применялись телемедицинские консультации. Во время консультации, которая проводилась с использованием смартфона, врач оценивал характеристики мигрени, схемы приема анальгетиков/профилактических препаратов, частоту/тяжесть головных болей, соблюдение режима лечения, побочные эффекты, связанные/не связанные с приемом лекарств, а также недоступность лекарств. Помимо разговора с врачом, пациенты заполняли опросники, после основной консультации проводился контроль эффективности подобранной терапии с помощью повторных телеконсультаций. В ходе исследования были проведены 146 телеконсультаций для 51 пациента. В 44% было выявлено ухудшение основных клинических симптомов, включая снижение ответа на лекарственную терапию, благодаря чему врачи смогли провести коррекцию дозы и заменить препараты. В результате около 90% родителей были удовлетворены результатом консультаций [35].

Для повышения комплаенса несовершеннолетних пациентов в терапии эпизодической и хронической мигрени, Grazzi L и соавт. применили дистанционное обучение, программу Be-Home Kids. Данная программа состояла из обучения пациентов правильному приему лекарственных средств, ведению здорового образа жизни, а также 6 психотерапевтических сессий с неврологом. Критериями включения в исследование являлось наличие хронической и частой мигрени без ауры на протяжении последних 12 месяцев, возрасту участников 12–18 лет. Результаты показали снижение частоты головной боли на 64% в течение 12 месяцев после

прохождения данной программы. Данная работа демонстрирует эффективность психотерапии и обучения пациентов и возможность удаленного проведения подобных сессий [36].

Приложения на смартфоны все чаще применяются в медицине, поскольку являются дешевым и доступным вариантом контроля заболевания. Многие приложения представляют из себя дневники, в которых пользователь отмечает какие-либо симптомы или ситуации, связанные со своей болезнью. Например, такой набор функций был применен в приложении для помощи подросткам в поиске причин, ведущих к развитию мигрени. В данном приложении пациент отмечает возможные триггеры мигрени, время появления головных болей и симптомы, связанные с ними. Пациент может предоставить доступ к цифровому дневнику своему лечащему врачу, который на основании заполненной информации может корректировать как медикаментозную терапию, так и поведенческие способы контроля мигрени [37]. Такие решения достаточно распространены на рынке медицинских мобильных приложений, и многие, помимо стандартного дневника, предоставляют информацию о хронической боли, способах немедикаментозной терапии, а также отслеживают качество сна и иные показатели ежедневной активности [38-40]. Исследование Kellier DJ и соавт. показало сопоставимую эффективность ведения мобильного приложения и стандартного бумажного дневника головной боли у педиатрических пациентов. Авторы отмечают, что мобильные приложения имеют значительное преимущество перед обычными дневниками, поскольку позволяют при необходимости отслеживать лечащему врачу симптомы в режиме реального времени [41].

Для терапии мигрени возможно применение технологий дополненной и виртуальной реальности (XR и VR). Такой вариант терапии включает в себя применение VR и биологической обратной связи (БОС): для БОС были использованы 3 ЭЭГ-электрода. 93% участников были удовлетворены применением VR и XR технологий, пациенты отмечали субъективное ощущение расслабления при использовании данных устройств, однако при домашнем применении 20% пациентов забывали пользоваться девайсом ежедневно [42].

### **Рассеянный склероз**

Рассеянный склероз является наиболее распространенным демиелинизирующим заболеванием среди пациентов-детей. Средний возраст начала РС у них составляет 12 лет, при этом до 30% педиатрических пациентов с РС моложе 10-ти лет [43]. До 98% вариантов РС в детском возрасте составляет рецидивирующе-ремиттирующее течение, при этом инвалидизация наступает спустя 20 лет после первого эпизода РС. Фактором риска для неблагоприятных исходов являются частые обострения с ремиссиями менее 1 года. Снижение когнитивных способностей является одним из наиболее тяжелых осложнений РС в детском возрасте [44]. Тяжесть обострений и неблагоприятные исходы, включающие в себя необратимые неврологические и психические расстройства при несвоевременном лечении ведут к необходимости постоянного наблюдения за детьми с РС.

Стандартным инструментальным методом диагностики РС является МРТ, однако в текущих клинических рекомендациях не рекомендуется постановка диагноза на основании только данных нейровизуализации; необходимо сочетание клинической картины и данных МРТ [45]. Цифровые технологии позволяют сделать сбор клинических данных более объективным. Например, одними из клинических симптомов РС являются патологии глазодвигательных мышц и неврит зрительного нерва, что проявляется нарушениями движений глазных яблок и ухудшением остроты зрения [46]. Yousef A. и соавт. применили трекер движения глаз для диагностики субклинических поражений при рассеянном склерозе у детей. Определение времени движения глаз показало задержку 60 мс при саккадических движениях у пациентов с РС. Данный прибор может быть использован как для диагностики проявлений РС, так и для мониторинга эффективности терапии на основе изменения выраженности симптомов [47, 48].

Многообещающим методом реабилитации пациентов с РС является использование программ на основе VR, и существует достаточное количество исследований эффективности данной технологии среди совершеннолетних ►►



пациентов с рассеянным склерозом [49–51]. Однако исследования о применении VR для когорты пациентов детского возраста еще не нашли распространения, несмотря на достаточную эффективность среди взрослых.

### Ночной энурез

Технологии дистанционного мониторинга ночного энуреза у детей были подробно рассмотрены в предыдущей нашей статье [52]. Основным направлением в данной сфере является применение носимых УЗИ-датчиков, которые контролируют уровень наполнения мочевого пузыря у ребенка, и, при достижении определенного объема, устройство передает информацию на смартфон или иное устройство, выполняя роль «будильника», который будит ребенка в ночное время, либо информирует родителей о необходимости разбудить ребенка. Такой подход позволяет сформировать условный рефлекс и минимизировать симптомы нейрогенного мочевого пузыря.

### ■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье было рассмотрено применение современных цифровых и телемедицинских технологий в диагностике, лечении и контроле неврологических заболеваний детского возраста. Наиболее распространенными неврологическими заболеваниями у несовершеннолетних пациентов являются: ДЦП, головные боли, эпилепсия, нейрогенные нарушения мочевого пузыря. Все состояния требуют высокого уровня контроля, который может быть достигнут при применении технологий дистанционного мониторинга, включая носимые устройства. С развитием VR расширились программы реабилитации, и появилась возможность их выполнения вне больницы, а также повысился комплаенс пациентов благодаря внедрению игровых компонентов в процесс реабилитации. Широкое применение нашли телеконсультации и ведение дневников с помощью смартфона. Цифровые технологии в детской неврологии имеют высокий потенциал благодаря легкости их освоения пациентами и их родителями. /

### ЛИТЕРАТУРА

- Burden of Neurological Conditions [Electronic resource]. URL: <https://www.paho.org/en/enlace/burden-neurological-conditions>
- Центр медицинской статистики НИИОЗММ. Болезни нервной системы в Москве. Цифры и факты. [Электронный ресурс]. [Center for Medical Statistics of the Scientific Research Institute of Medical Sciences. Diseases of the nervous system in Moscow. Figures and facts [Electronic resource]. (In Russian)]. URL: <https://niioz.ru/news/bolezni-nervnoy-sistemy-v-moskve-tsifry-i-fakty/>
- GBD 2017 US Neurological Disorders Collaborators et al. Burden of Neurological Disorders Across the US From 1990-2017: A Global Burden of Disease Study. *JAMA Neurol* 2021;78(2):165.
- Moreau JF, Fink EL, Hartman ME, Angus DC, Bell MJ, Linde-Zwirble WT, Watson RS. Hospitalizations of children with neurologic disorders in the United States. *Pediatr Crit Care Med*. 2013;14(8):801-10. <https://doi.org/10.1097/PCC.0b013e31828aa71f>
- Fortin O, Ng P, Dorais M, Koclas L, Pigeon N, Shevell M, Oskoui M. Hospitalizations in School-Aged Children with Cerebral Palsy and Population-Based Controls. *Can J Neurol Sci* 2021;48(3):400-7. <https://doi.org/10.1017/cjn.2020.199>
- Cacciotti C, Chua IS, Cuadra J, Ullrich NJ, Cooney TM. Pediatric central nervous system tumor survivor and caregiver experiences with multidisciplinary telehealth. *J Neurooncol* 2023;162(1):191-8. <https://doi.org/10.1007/s11060-023-04281-y>
- Abu Libdeh A, Flanigan J, Heinan K. Experience with Pediatric Neurology e-Consults from a Specialist Perspective at an Academic Center. *J Child Neurol* 2022;37(5):373-9. <https://doi.org/10.1177/08830738221077760>
- Xu JC, Haider SA, Sharma A, Blumenfeld K, Cheng J, Mazzola CA, et al. Telehealth in Neurosurgery: 2021 Council of State Neurosurgical Societies National Survey Results. *World Neurosurg* 2022;168:e328-e335. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.09.126>
- Ellis MJ, Boles S, Derksen V, Dawyduk B, Amadu A, Stelmack K, et al. Evaluation of a pilot paediatric concussion telemedicine programme for northern communities in Manitoba. *Int J Circumpolar Health* 2019;78(1):1573163. <https://doi.org/10.1080/22423982.2019.1573163>
- Союз педиатров России Всероссийское общество неврологов, Национальная ассоциация экспертов по ДЦП и сопряженным заболеваниям, МООСБТ, Союз реабилитологов России. *Детский церебральный паралич* 2017. [Union of Pediatricians of Russia All-Russian Society of Neurologists, National Association of Experts on Cerebral Palsy and Related Diseases, MOOSBT, Union of Rehabilitologists of Russia. *Cerebral palsy* 2017. (In Russian)].
- Nakao M, Okumura A, Hasegawa J, Toyokawa S, Ichizuka K, Kanayama N, et al. Fetal heart rate pattern in term or near-term cerebral palsy: a nationwide cohort study. *Am J Obstet Gynecol* 2020;223(6):907.e1-907.e13. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2020.05.059>
- Arnold JJ, Gawrys BL. Intrapartum Fetal Monitoring. *Am Fam Physician* 2020;102(3):158-67.
- Evans MI, Eden RD, Britt DW, Evans SM, Schifrin BS. Re-engineering the interpretation of electronic fetal monitoring to identify reversible risk for cerebral palsy: a case control series. *J Matern Fetal Neonatal Med* 2019;32(15):2561-9. <https://doi.org/10.1080/14767058.2018.1441283>
- Kahankova R, Barnova K, Jaros R, Pavlicek J, Snales V, Martinek R. Pregnancy in the time of COVID-19: towards Fetal monitoring 4.0. *BMC Pregnancy Childbirth* 2023;23(1):33. <https://doi.org/10.1186/s12884-023-05349-3>
- Knupp RJ, Andrews WW, Tita ATN. The future of electronic fetal monitoring. *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol* 2020;67:44-52. <https://doi.org/10.1016/j.bpobgyn.2020.02.004>
- Chung HW, Chang CK, Huang TH, Chen LC, Chen HL, Yang ST, et al. Mobile Device-Based Video Screening for Infant Head Lag: An Exploratory Study. *Children (Basel)* 2023;10(7):1239. <https://doi.org/10.3390/children10071239>

## ЛИТЕРАТУРА

- dren10071239
17. den Hartog D, van der Krogt MM, van der Burg S, Aleo I, Gijsbers J, Bonouvi LA, et al. Home-Based Measurements of Dystonia in Cerebral Palsy Using Smartphone-Coupled Inertial Sensor Technology and Machine Learning: A Proof-of-Concept Study. *Sensors (Basel)* 2022;22(12):4386. <https://doi.org/10.3390/s22124386>
  18. Kuo H, Wang J, Schladen MM, Chang T, Morozova OM, Croce UD, et al. Hand Use and Grasp Sensor System in Monitoring Infant Fine Motor Development. *Arch Rehabil Res Clin Transl* 2022;4(3):100203. <https://doi.org/10.1016/j.arrct.2022.100203>
  19. Chan-V'quez D, Khan A, Munce S, Fehlings D, Wright FV, Biddiss E. Understanding a videogame home intervention for children with hemiplegia: a mixed methods multi-case study. *Front Med Technol* 2023;5:1217797. <https://doi.org/10.3389/fmedt.2023.1217797>
  20. Beani E, Menici V, Ferrari A, Cioni G, Sgandurra G. Feasibility of a Home-Based Action Observation Training for Children With Unilateral Cerebral Palsy: An Explorative Study. *Front Neurol* 2020;11:16. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00016>
  21. Coley C, Kovelman S, Belschner J, Cleary K, Schladen M, Evans SH, et al. PedBotHome: A Video Game-Based Robotic Ankle Device Created for Home Exercise in Children With Neurological Impairments. *Pediatr Phys Ther* 2022;34(2):212-9. <https://doi.org/10.1097/PEP.0000000000000881>
  22. Ochandorena-Acha M, Terradas-Monllor M, Nunes Cabrera TF, Torrabias Rodas M, Grau S. Effectiveness of virtual reality on functional mobility during treadmill training in children with cerebral palsy: a single-blind, two-arm parallel group randomised clinical trial (VirtWalkCP Project). *BMJ Open* 2022;12(11):e061988. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-061988>
  23. Liu W, Hu Y, Li J, Chang J. Effect of Virtual Reality on Balance Function in Children With Cerebral Palsy: A Systematic Review and Meta-analysis. *Front Public Health* 2022;10:865474. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.865474>
  24. Roberts H, Shierk A, Clegg NJ, Baldwin D, Smith L, Yeatts P, et al. Constraint Induced Movement Therapy Camp for Children with Hemiplegic Cerebral Palsy Augmented by Use of an Exoskeleton to Play Games in Virtual Reality. *Phys Occup Ther Pediatr* 2021;41(2):150-65. <https://doi.org/10.1080/01942638.2020.1812790>
  25. Всероссийское общество неврологов, Ассоциация нейрохирургов России, Ассоциация специалистов по клинической нейрофизиологии, Российская противозипелитическая Лига, Союз реабилитологов России. Клинические рекомендации «Эпилепсия и эпилептический статус у взрослых и детей». [Электронный ресурс]. [All-Russian Society of Neurologists; Association of Neurosurgeons of Russia; Association of Clinical Neurophysiologists; Russian Antiepileptic League; Union of Rehabilitologists of Russia. Clinical guidelines «Epilepsy and status epilepticus in adults and children». [Electronic resource]. (In Russian)].
  26. Vander T, Stroganova T, Doufish D, Eliashiv D, Gilboa T, Medvedovsky M, et al. What is the optimal duration of home-video-EEG monitoring for patients with <1 seizure per day? A simulation study. *Front Neurol* 2022;13:938294. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.938294>
  27. Hegarty-Craver M, Kroner BL, Bumbut A, DeFilipp SJ, Gaillard WD, Gilchrist KH. Cardiac-based detection of seizures in children with epilepsy. *Epilepsy Behav* 2021;122:108129. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2021.108129>
  28. Engelgeer A, van Westrhenen A, Thijs RD, Evers SMAA. An economic evaluation of the NightWatch for children with refractory epilepsy: Insight into the cost-effectiveness and cost-utility. *Seizure* 2022;101:156-161. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2022.08.003>
  29. Davies EH, Fieggen K, Wilmshurst J, Anyanwu O, Burman RJ, Komarzynski S. Demonstrating the feasibility of digital health to support paediatric patients in South Africa. *Epilepsia Open* 2021;6(4):653-62. <https://doi.org/10.1002/epi4.12527>
  30. Pedersen M, Abbott DF, Jackson GD. Wearable OPM-MEG: A changing landscape for epilepsy. *Epilepsia* 2022;63(11):2745-53. <https://doi.org/10.1111/epi.17368>
  31. Linder C, Neideman M, Wide K, von Euler M, Gustafsson LL, Pohanka A. Dried Blood Spot Self-Sampling by Guardians of Children With Epilepsy Is Feasible: Comparison With Plasma for Multiple Antiepileptic Drugs. *Ther Drug Monit* 2019;41(4):509-18. <https://doi.org/10.1097/FTD.0000000000000605>
  32. Nieswand V, Richter M, Gossrau G. Epidemiology of Headache in Children and Adolescents—Another Type of Pandemia. *Curr Pain Headache Rep* 2020;24(10):62. <https://doi.org/10.1007/s11916-020-00892-6>
  33. Nieswand V, Richter M, Berner R, von der Hagen M, Klimova A, Roeder I, et al. The prevalence of headache in German pupils of different ages and school types. *Cephalalgia* 2019;39(8):1030-40. <https://doi.org/10.1177/0333102419837156>
  34. Wilkes MJ, Mendis MD, Bisset L, Leung FT, Sexton CT, Hides JA. The prevalence and burden of recurrent headache in Australian adolescents: findings from the longitudinal study of Australian children. *J Headache Pain* 2021;22(1):49. <https://doi.org/10.1186/s10194-021-01262-2>
  35. Sharawat IK, Panda PK. Caregiver Satisfaction and Effectiveness of Teleconsultation in Children and Adolescents With Migraine During the Ongoing COVID-19 Pandemic. *J Child Neurol* 2021;36(4):296-303. <https://doi.org/10.1177/0883073820968653>
  36. Grazi L, Montisano DA, Raggi A, Rizzoli P. The Be-Home Kids Program: An Integrated Approach for Delivering Behavioral Therapies to Adolescents with Episodic and Chronic Migraine. *Brain Sci* 2023;13(4):699. <https://doi.org/10.3390/brainsci13040699>
  37. Migraine Trainer App [Electronic resource]. URL: <https://www.ninds.nih.gov/health-information/public-education/migraine-trainer-app>.
  38. Headache Log app [Electronic resource]. URL: <https://healthify.nz/apps/h/headache-log-app/>.
  39. Migraine Buddy app [Electronic resource]. URL: <https://healthify.nz/apps/m/migraine-buddy-app/>.
  40. WebMAP MobileTM [Electronic resource]. URL: [https://www.seattlechildrens.org/globalassets/documents/research/cchbd/webmap\\_mobile\\_app\\_flyer.pdf](https://www.seattlechildrens.org/globalassets/documents/research/cchbd/webmap_mobile_app_flyer.pdf).
  41. Kellier DJ, Marquez de Prado B, Haagen D, Grabner P, Raj NR, Lechtenberg L, et al. Development of a text message-based headache diary in adolescents and children. *Cephalalgia* 2022;42(10):1013-21. <https://doi.org/10.1177/03331024221090206>
  42. Connelly M, Boorigie M, McCabe K. Acceptability and Tolerability of Extended Reality Relaxation Training with and without Wearable Neurofeedback in Pediatric Migraine. *Children (Basel)* 2023;10(2):329. <https://doi.org/10.3390/children10020329>
  43. Deiva K. Pediatric onset multiple sclerosis. *Rev Neurol (Paris)* 2020;176(1-2):30-6. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2019.02.002>
  44. Langille MM, Rutatangwa A, Francisco C. Pediatric Multiple Sclerosis: A Review. *Adv Pediatr* 2019;66:209-229. <https://doi.org/10.1016/j.yapd.2019.03.003>
  45. Всероссийское общество неврологов, Национальное общество нейрорадиологов, Медицинская ассоциация врачей и центров рассеянного склероза и других нейроиммунологических заболеваний, Российский комитет исследователей рассеянного склероза. Клинические рекомендации Министерства здравоохранения РФ «Рассеянный склероз» 2022 год. [Электронный ресурс]. [All-Russian Society of Neurologists, National Society of Neuroradiologists, Medical Association of Doctors and Centers for Multiple Sclerosis and Other Neuroimmunological Diseases, Russian Committee for Researchers of Multiple Sclerosis. Clinical recommendations of the Ministry of Health of the Russian Federation

## ЛИТЕРАТУРА

«Multiple Sclerosis» 2022. [Electronic resource]. (In Russian)].

46. Serra A, Chisari CG, Matta M. Eye Movement Abnormalities in Multiple Sclerosis: Pathogenesis, Modeling, and Treatment. *Front Neurol* 2018;9:31. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00031>

47. Eye Brain tracker T2 [Electronic resource]. URL: <http://www.eyebrian.fr>.

48. Yousef A, Devereux M, Gourraud PA, Jonzson S, Suleiman L, Waubant E, et al. Subclinical Saccadic Eye Movement Dysfunction in Pediatric Multiple Sclerosis. *J Child Neurol* 2019;34(1):38-43. <https://doi.org/10.1177/0883073818807787>

49. Kalron A, Achiron A, Pau M, Cocco E. The effect of a telerehabilitation virtual reality intervention on functional upper limb activities in people with multiple sclerosis: a study protocol for the TEAMS pilot randomized controlled trial. *Trials* 2020;21(1):713. <https://doi.org/10.1186/s13063-020-04650-2>

50. Lozano-Quilis JA, Gil-G—mez H, Gil-G—mez JA, Albiol-PTrez S, Pala-

cios-Navarro G, Fardoun HM, et al. Virtual rehabilitation for multiple sclerosis using a kinect-based system: randomized controlled trial. *JMIR Serious Games* 2014;2(2):e12. <https://doi.org/10.2196/games.2933>

51. Cuesta-Gomez A, Sanchez-Herrera-Baeza P, Ona-Simbana ED, Martinez-Medina A, Ortiz-Comino C, Balaguer-Bernaldo-de-Quiros C, et al. Effects of virtual reality associated with serious games for upper limb rehabilitation inpatients with multiple sclerosis: randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil* 2020;17(1):90. <https://doi.org/10.1186/s12984-020-00718-x>

52. Monakov D.M., Shaderkina A.I., Shaderkin I.A. Monitoring bladder filling in patients with neurogenic urination disorders: the role of wearable hardware and software systems. *Experimental and Clinical Urology* 2021;14(2):124-31. <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2021-14-2-124-131>

## Сведения об авторах:

Шадеркина А.И. – студентка 5 курса «Персонализированной медицины» Института клинической медицины, Первого Московского государственного медицинского университета имени И.М. Сеченова Минздрава России; Москва, Россия; РИНЦ Author ID 1064989, <https://orcid.org/0000-0003-0639-3274>

Алексеева М.В. – к.м.н., заместитель директора по организационно-методической работе Научно-практического центра детской психоневрологии Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия, РИНЦ Author ID 925525

Батышева Т.Т. – д.м.н., профессор, директор Научно-практического центра детской психоневрологии Департамента здравоохранения города Москвы, главный внештатный детский специалист Министерства здравоохранения РФ по медицинской реабилитации, главный внештатный детский специалист Департамента здравоохранения города Москвы по неврологии, Москва, Россия, РИНЦ Author ID 945308

Климов Ю.А. – к. М. Н., декан лечебного факультета РГСУ, Москва, Россия, РИНЦ Author ID 945310, <https://orcid.org/0000-0001-5946-094X>

## Вклад авторов:

Шадеркина А.И. – обзор литературы, написание текста, 40%  
Алексеева М.В. – определение научного интереса, обзор литературы, 25%

Батышева Т.Т. – определение научного интереса, дизайн обзора, 25%

Климов Ю.А. – литературный обзор, 10%

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

**Статья поступила:** 1.07.23

**Результат рецензирования:** 21.08.23

**Исправления получены:** 28.08.23

**Принята к публикации:** 31.08.23

## Information about authors:

Shaderkina A.I. – 5th year student of «Personalized Medicine» of the Institute of Clinical Medicine, First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov, Ministry of Health of Russia; Moscow, Russia; RSCI Author ID 1064989, <https://orcid.org/0000-0003-0639-3274>

Alekseeva M.V. – Candidate of Medical Sciences, Deputy Director for Organizational and Methodological Work of the Scientific and Practical Center for Pediatric Psychoneurology of the Moscow Department of Health, Moscow, Russia, RSCI Author ID 925525

Batysheva T.T. – Doctor of Medical Sciences, Professor, Director of the Scientific and Practical Center for Pediatric Psychoneurology of the Moscow Department of Health, Chief Freelance Children's Specialist of the Ministry of Health of the Russian Federation for Medical Rehabilitation, Chief Freelance Children's Specialist of the Moscow Department of Health for Neurology, Moscow, Russia, RSCI Author ID 945308

Klimov Yu.A. – Ph.D. M.N., Dean of the Faculty of Medicine of the Russian State Social University, Moscow, Russia, RSCI Author ID 945310, <https://orcid.org/0000-0001-5946-094X>

## Authors Contribution:

Shaderkina A.I. – literature review, text writing, 40%

Alekseeva M.V. – identification of scientific interest, literature review, 25%

Batysheva T.T. – identification of scientific interest, review design, 25%

Klimov Yu.A. – literature review, 10%

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Financing.** The study was performed without external funding.

**Article received:** 1.07.23

**Review result:** 21.08.23

**Admission after correction:** 21.08.23

**Accepted for publication:** 02.06.2023