

# Современные технологии бесконтактного управления компьютером и их применение в реабилитации

Д.О. Савчиц ✉, С.В. Прокопенко, С.А. Субочева

ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России; Россия, г. Красноярск

## РЕЗЮМЕ

**Цель.** Анализ отечественных и зарубежных публикаций, посвященных применению технологий бесконтактного управления компьютером в реабилитации и адаптации.

**Основные положения.** Внедрение компьютерных технологий в процесс восстановительного лечения — одна из ключевых задач реабилитации на сегодняшний день. К перспективным технологиям относится бесконтактное управление компьютером. Рассматривались источники из доступных баз данных (eLIBRARY.RU, PubMed, Cochrane Library), опубликованные в период с 2014 по 2024 г. В литературном обзоре описываются основные подходы и методики, позволяющие осуществлять бесконтактное управление компьютером, особое внимание уделяется анализу преимуществ и ограничений данных методик в контексте реабилитации.

**Заключение.** Технологии бесконтактного управления компьютером демонстрируют большой потенциал в области реабилитации и могут стать эффективным инструментом для повышения качества жизни пациентов.

**Ключевые слова:** реабилитация, адаптация, бесконтактное управление компьютером, интерфейс «человек — компьютер», компьютерное зрение.

**Для цитирования:** Савчиц Д.О., Прокопенко С.В., Субочева С.А. Современные технологии бесконтактного управления компьютером и их применение в реабилитации. Доктор.Ру. 2025;24(6):69–78. DOI: 10.31550/1727-2378-2025-24-6-69-78

## Modern Technologies of Contactless Computer Control and Their Application in Rehabilitation

D.O. Savchits ✉, S.V. Prokopenko, S.A. Subocheva

Professor V.F. Voino-Yasinetzky Krasnoyarsk State Medical University; Krasnoyarsk, Russian Federation

## ABSTRACT

**Aim.** Analysis of domestic and foreign literature on the use of contactless computer control technologies in rehabilitation and adaptation.

**Key points.** The introduction of computer technology into the process of rehabilitation treatment is one of the key tasks of rehabilitation today. Contactless computer control is a promising technology. We considered sources from available databases (eLIBRARY.RU, PubMed, Cochrane Library) published in the period from 2014 to 2024. The literature review describes the main approaches and techniques that allow contactless computer control, paying special attention to analyzing the advantages and limitations of these methods in the context of rehabilitation.

**Conclusion.** Contactless control technologies have great potential in rehabilitation and could become an effective tool to improve the quality of life of patients.

**Keywords:** rehabilitation, adaptation, contactless computer control, human — computer interface, computer vision.

**For citation:** Savchits D.O., Prokopenko S.V., Subocheva S.A. Modern technologies of contactless computer control and their application in rehabilitation. Doctor.Ru. 2025;24(6):69–78. (in Russian). DOI: 10.31550/1727-2378-2025-24-6-69-78

Сервисы с применением компьютерных технологий и нейронных сетей в медицине, в том числе в области реабилитации, развиваются с невероятной скоростью [1–3]. На сегодняшний день векторами совершенствования этих технологий прежде всего являются повышение доступности медицинской реабилитации, а также развитие возможностей интеграции процесса восстановления с повседневной активностью пациента [1].

К перспективным направлениям медицинской реабилитации относятся разработка методов бесконтактного управления компьютером и другими электронными устройствами [1], создание нейронных сетей [2], использование компьютерного зрения в восстановительном лечении [1, 4], что позволяет врачу составлять индивидуальные программы реабилитации. Технологии бесконтактного управления компьютером, основанные на распознавании жестов, движений различны-

ми частями тела, на голосовом управлении, управлении глазами и мимикой, становятся более популярными и востребованными. Данные программы обеспечивают возможность управлять компьютером, не прибегая к использованию традиционных устройств ввода, таких как клавиатура и компьютерная мышь [5], и главным образом облегчают адаптацию к повседневной жизни людей с тяжелыми неврологическими нарушениями.

Актуальность темы обусловлена растущим интересом к новым технологиям, которые помогают упростить процесс взаимодействия человека с компьютером. В принципе, бесконтактная работа с компьютером позволяет не только отрабатывать процесс адаптации, но и использовать определенные реабилитационные программы. Поскольку в последнее время расширяются возможности обучаться и работать удаленно, из дома, с помощью компьютерных технологий можно

✉ Савчиц Дарья Олеговна / Savchits, D.O. — E-mail: dar.shabalina@gmail.com

возобновить свою трудовую деятельность или получить новую профессию.

**Целью данного литературного обзора** является анализ существующих исследований и разработок в области бесконтактного управления компьютером, а также выявление основных тенденций и направлений развития данной технологии в контексте реабилитации и адаптации.

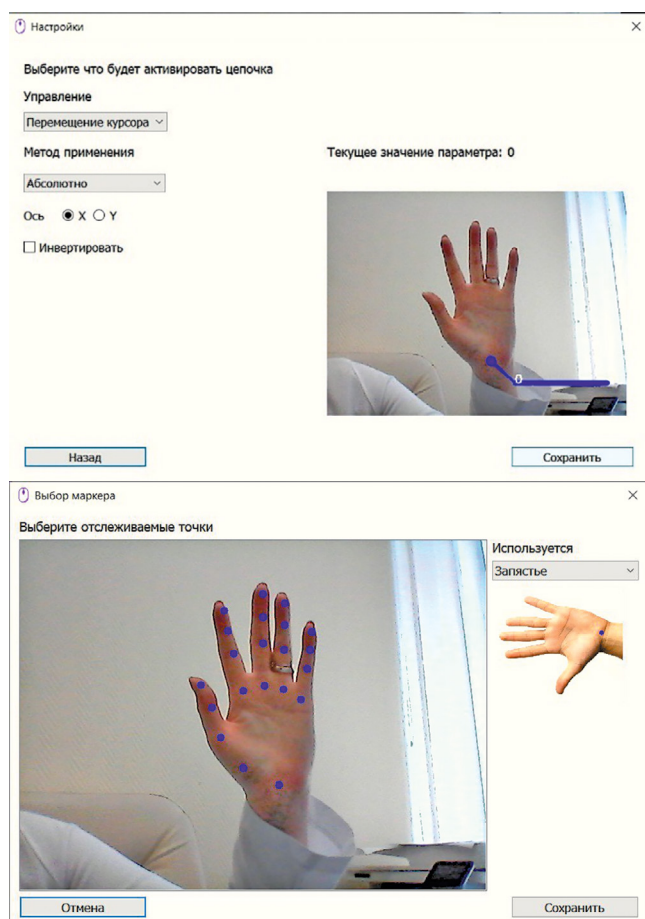
Литературный обзор составлен на основании результатов анализа 58 статей на русском и английском языках, представленных в доступных базах данных: PubMed, Cochrane Library, eLIBRARY.RU. Поиск проводился с использованием ключевых слов «бесконтактное управление компьютером», «реабилитация» и «интерфейс "человек — компьютер"», «компьютерное зрение». Для обзора были отобраны все материалы, опубликованные в период с 2014 по 2024 г., которые соответствовали теме исследования. Результаты работы позволяют получить представление о текущем состоянии и перспективах развития бесконтактного управления компьютером в контексте реабилитации и адаптации, что может стать основой для дальнейших исследований в этой области.

## УПРАВЛЕНИЕ КОМПЬЮТЕРОМ С ПОМОЩЬЮ ДВИЖЕНИЙ РАЗЛИЧНЫМИ ЧАСТЯМИ ТЕЛА

К наиболее перспективным направлениям развития бесконтактных интерфейсов относятся разработки в области технологий распознавания движений тела для управления компьютером [6–8]. Основой таких программ является ком-

**Рис. 1.** Пример маркера, улавливаемого компьютерным зрением. *Иллюстрация авторов*

**Fig. 1.** An example of a marker detected by computer vision. *Illustration by the authors*



пьютерное зрение. В рамках данной методики применяется определенный маркер — объект, который фиксируется веб-камерой компьютера, а программа при помощи компьютерного зрения обнаруживает этот маркер и использует изменение его координат для перемещения курсора. В качестве маркера могут выступать как части тела человека (например, нос, плечо, запястье, кисть, отдельные пальцы руки), так и специальная цветная метка. Человек перемещает маркер — и курсор повторяет движение на экране компьютера (рис. 1).

В настоящее время подобные программы созданы лишь для некоторых частей тела человека: большинство из них способны осуществлять распознавание кисти, отдельных пальцев или лица, но не являются универсальными, так как не имеют функции переключения с одной части тела человека на другую.

Только несколько методик были предложены и апробированы в качестве программ для реабилитации пациентов. В этих исследованиях нейрореабилитация осуществлялась с помощью различных игр с биологической обратной связью, и они не были предназначены для повседневного использования компьютера. Большинство программ разрабатывались с целью адаптации пациента и предоставления возможности бесконтактного управления компьютером.

Таким образом, существует необходимость создания методики, которая позволит человеку использовать компьютер в своей ежедневной активности, например работать, писать письма, совершать видеозвонки и многое другое. Важная часть такой методики — наличие индивидуальных настроек под каждого пользователя, с возможностью выбрать любой маркер, задать амплитуду движения и скорость перемещения курсора. Это позволило бы применять технологию как часть персонализированной нейрореабилитационной методики. Такой подход должен способствовать созданию интуитивно понятных и удобных интерфейсов, которые могут быть особенно полезны для людей с ограниченными возможностями [9].

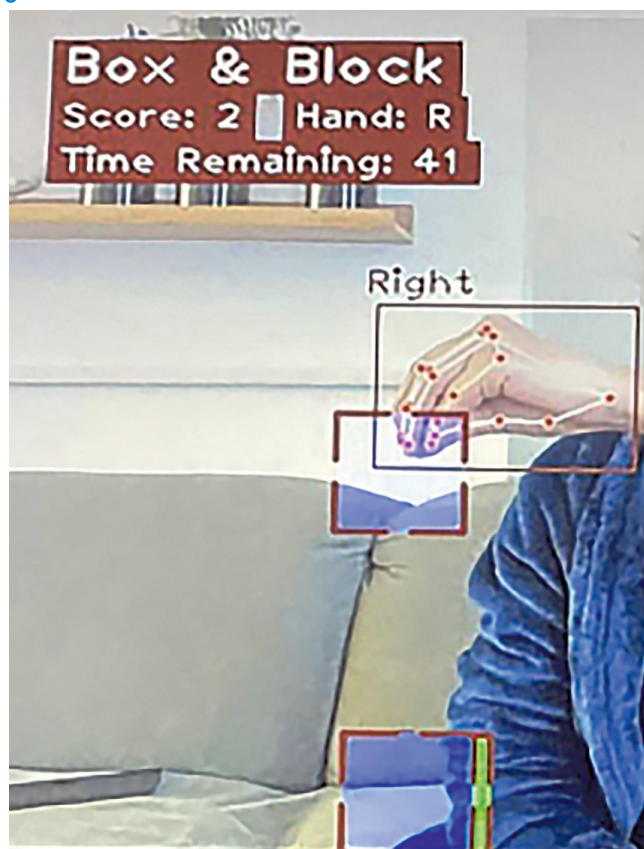
## ПРИМЕНЕНИЕ В РЕАБИЛИТАЦИИ

На сегодняшний день разработано много программ, основанных на улавливании веб-камерой движений руки [10, 11] и определенных жестов [12–14], которые специально обрабатываются и переводятся в управление курсором компьютера. С каждым годом увеличивается число исследований, связанных с внедрением программ бесконтактного управления компьютером в медицине, в частности в области реабилитации.

Бесконтактное управление компьютером все чаще используется с целью восстановления мелкой моторики в домашних условиях. Например, О. Zestas и соавт. разработали программу, основанную на компьютерном зрении и объединяющую в себе блок тестирования функции верхней конечности (тест Соллермана, подтест «Пиши ручкой» и тест «Кубики в коробке») и реабилитационную методику, для восстановления мелкой моторики и ловкости руки (рис. 2). Особенности данной программы — отсутствие дополнительного специализированного оборудования, возможность проведения тестирования и реабилитации без непосредственного участия врача. Важно и то, что программу можно настроить на определенные задачи и движения, что позволяет подойти к реабилитации более индивидуально [12, 15]. Наличие визуальной и слуховой обратной связи помогает пациентам сохранять мотивацию для прохождения реабили-

**Рис. 2.** Пациент после перенесенного инсульта проходит тест «Кубики в коробке» [16]

**Fig. 2.** A patient undergoes a “Box and block” test after a stroke [16]



литации, постепенно наращивая сложность и интенсивность упражнений [15, 16].

J. Chen и соавт. использовали систему слежения за траекторией движения руки для написания символов в воздухе. Исследователи разработали интерактивную нейрореабилитационную игру, управление в которой осуществляется при помощи жестов: пациенту необходимо написать в воздухе китайские иероглифы. Данная система имеет высокую точность улавливания движений руки в воздухе и рекомендована для реабилитации тонкой моторики у пациентов после инсульта (рис. 3) [7].

Еще одна интересная нейрореабилитационная методика с элементами дополненной реальности создана на основе популярной игры Fruit Ninja. В исследовании сравнивался привычный стиль игры на компьютере и игры с элементами дополненной реальности, основанной на компьютерном зрении, у пациентов с постинсультным гемипарезом (рис. 4). Было отмечено, что показатели восстановления двигательной функции руки у обследованных в группе с дополненной реальностью были выше, чем при использовании обычной компьютерной игры. Отчасти авторы связывают это с тем, что при прохождении игры на компьютере требуется большая когнитивная нагрузка, что является проблематичным для некоторых пациентов. Подобные игры позволяют осуществлять индивидуальный подход и могут использоваться у пациентов с различной степенью когнитивных нарушений [17].

Основной терапевтический механизм таких методик заключается в индукции нейропластических изменений посредством повторяющихся целенаправленных упражнений, ориентированных на восстановление утраченных функций.

## ПРИМЕНЕНИЕ В АДАПТАЦИИ

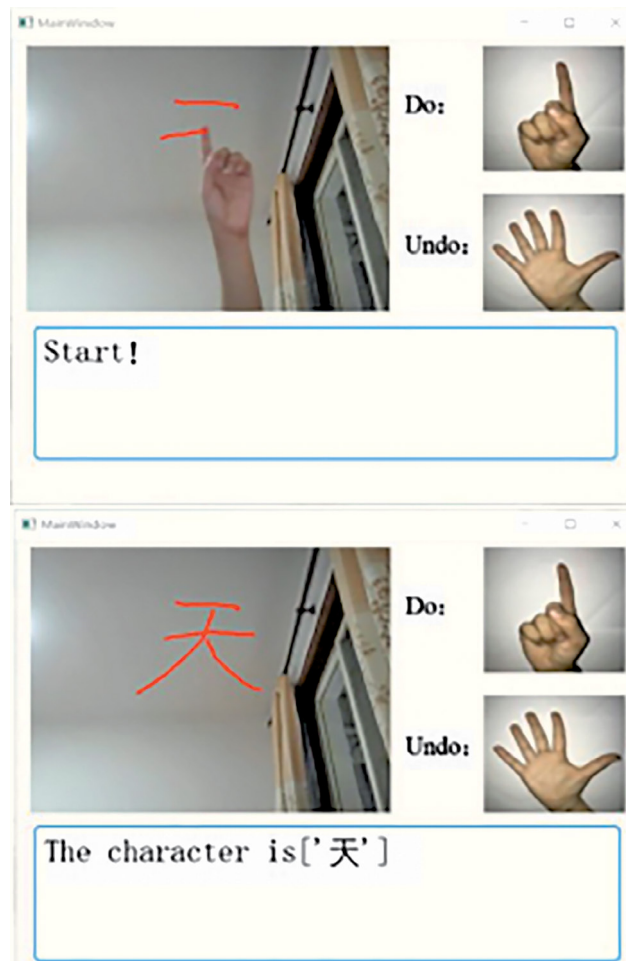
В научных статьях других авторов описываются похожие модели бесконтактного пользовательского интерфейса с управлением при помощи распознавания движений различных частей тела (руки, головы, ноги и т. д.) для людей с тяжелыми двигательными нарушениями и тетраплегией (рис. 5), что позволяет обеспечивать доступ к компьютеру и другим электронным устройствам [18]. Кроме того, разработаны и апробированы программы для управления курсором компьютера при помощи движения головой [19, 20], сочетания движения головой и мимики [21, 22].

На сегодняшний день растет популярность мультимодальных интерфейсов «человек — компьютер», сочетающих в себе управление с помощью комбинации жестов и голоса, для использования некоторых компьютерных приложений, таких как Google Chrome, Gmail [23, 24]. Данные технологии предоставляют альтернативные способы взаимодействия между человеком и компьютером посредством компенсации двигательных ограничений и сохранения доступа к профессиональной и социальной деятельности.

Y. Gu и соавт. в рамках обзора различных методов управления компьютером с помощью компьютерного зрения

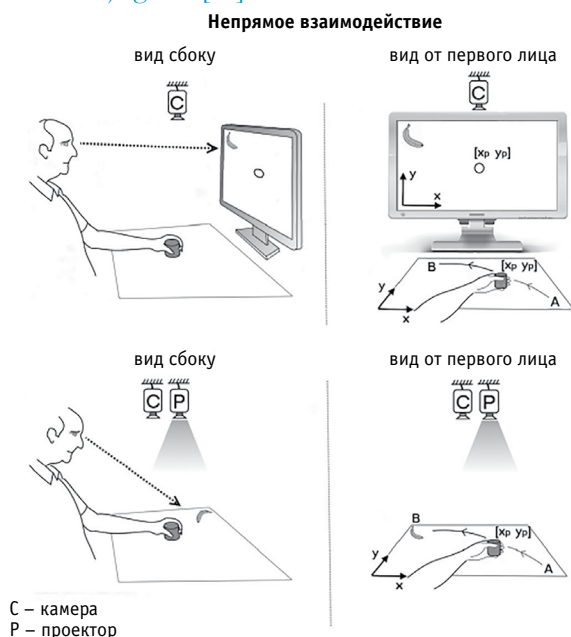
**Рис. 3.** Иллюстрация одного из примеров реабилитационной игры: слева — процесс письма в воздухе; справа — результат распознавания символа [7]

**Fig. 3.** Illustration of one of the examples of the rehabilitation game: on the left is the process of writing in the air, on the right is the result of character recognition [7]



**Рис. 4.** Пациент, играющий в разные версии игры Fruit Ninja [17]

**Fig. 4.** A patient playing different versions of the Fruit Ninja game [17]



в области реабилитации и адаптации выделяют ряд их преимуществ: неинвазивность, отсутствие дополнительного дорогостоящего оборудования, удобство и простоту использования [6]. Это позволяет людям управлять компьютером с помощью естественных движений, что делает данный метод интуитивно понятным. Кроме того, управление жестами может быть адаптировано под индивидуальные потребности и возможности каждого пользователя.

Однако у вышеуказанных методов есть и некоторые недостатки. Во-первых, точность распознавания жестов может зависеть от настроек программы и характеристик устройства, например недостаточного освещения комнаты или изменения положения маркера относительно веб-камеры и ее разрешения. Во-вторых, скорость распознавания и точность движений относительно низкие. В-третьих, отмечается сложность реализации и настройки системы

**Рис. 5.** Управление компьютером при помощи движения головой [22]

**Fig. 5.** Computer control by head movement [22]



управления жестами: требуется использование специализированных датчиков и маркеров, а также алгоритмов обработки данных, создание которых может вызывать сложности [6].

Несмотря на некоторые ограничения, управление жестами имеет большой потенциал для применения в двигательной реабилитации и адаптации к повседневной жизни. Однако для успешного внедрения данного подхода необходимо решить ряд технических и организационных проблем [6].

## УПРАВЛЕНИЕ КОМПЬЮТЕРОМ С ПОМОЩЬЮ ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ

Еще одной перспективной технологией является бесконтактное управление компьютером при помощи отслеживания движений глаз [25]. Современные исследования подтверждают высокую эффективность технологии ай-трекинга (с англ. eye tracking — «отслеживание глаз») как инструмента для реабилитации и социальной адаптации пациентов с ограниченными возможностями посредством бесконтактного управления компьютером [26]. Она основана на способности пользователя направлять взгляд на определенные объекты или области экрана, чтобы выполнять различные действия.

## ПРИМЕНЕНИЕ В РЕАБИЛИТАЦИИ

Технологии отслеживания взгляда изучались в интеграции с когнитивными тестами и электронными формами отчетов при клинических испытаниях в рамках реабилитации больных после черепно-мозговых травм [27, 28]. Кроме того, с использованием технологии ай-трекинга активно проводятся исследования, рассматривающие восстановление когнитивных функций у пациентов, перенесших инсульт [29]. Для больных с гемианопсией и другими дефектами полей зрения устройства отслеживания глаз были дополнены программой виртуальной реальности и играми, что, с учетом улучшенной обратной связи и разнообразия упражнений, способствовало реабилитации пациентов [30, 31]. Данные приложения универсальны и позволяют повышать независимость и улучшать качество жизни пациентов с различными неврологическими нарушениями (рис. 6).

## ПРИМЕНЕНИЕ В АДАПТАЦИИ

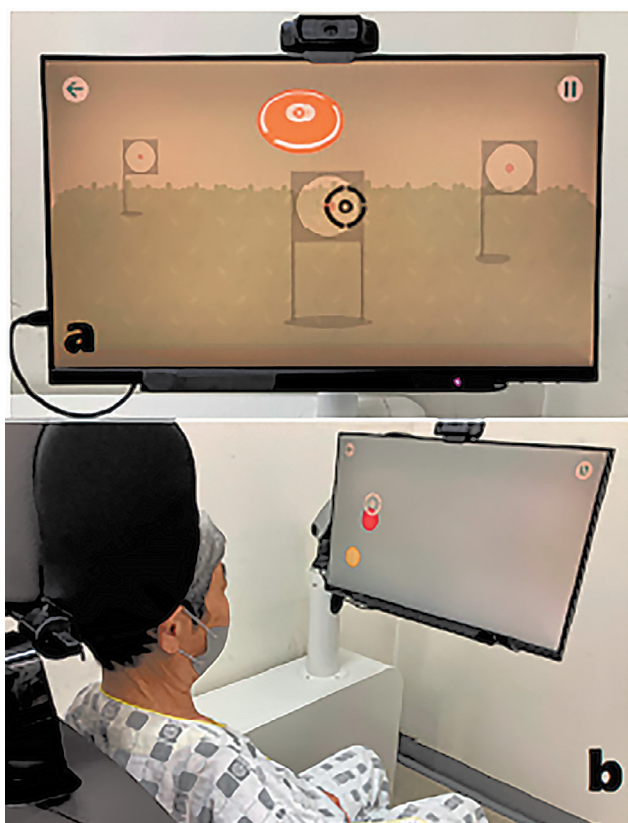
Технология ай-трекинга используется при разработке системы домашней автоматизации (дистанционного управления домом) для пациентов с синдромом «запертого человека» или боковым амиотрофическим склерозом [32–34], позволяющей им управлять различными приборами, в том числе и компьютером, при помощи движения глаз [34, 35].

Реализацию такой уникальной системы описывают в своей статье К.О. Бодров и соавт., которые разработали «умную палату» — комфортную среду для полностью обездвиженных пациентов. Управление «умной палатой» осуществляется за счет фокусирования взгляда на определенной части монитора компьютера. Камеры улавливают это движение глаз, и появляется возможность активации определенных манипуляций (например, включить или выключить свет, телевизор, микроволновую печь, открыть или закрыть шторы, вызов медицинского персонала). Данный интерфейс помогает пациенту адаптироваться к новым условиям жизни и чувствовать себя более уверенно и комфортно. Важно, что такие системы можно использовать не только в стационарных, но и в домашних условиях [25].

**Рис. 6.** Технология отслеживания движения глаз на примере тренировки внимания:

устройство отслеживания взгляда крепится под монитором (А); при фокусировании взгляда на цели, представленной на экране, устройство отслеживания взгляда распознает движение глаз и переводит курсор на цель (В) [29]

**Fig. 6.** Eye movement tracking technology using the example of attention training: A gaze tracking device is mounted under the monitor (A). When focusing on a target presented on the screen, the gaze tracker recognizes eye movements and moves the cursor to the target (B) [29]



Некоторые программы разрабатывались также с целью улучшения управления инвалидными колясками [36, 37], функциональными кроватями [38].

Однако у данного метода есть и некоторые недостатки. Одним из них является сложность реализации и настройки программы. Для этого требуется использование специализированных датчиков и алгоритмов обработки данных, зачастую дорогих и сложных в разработке. Кроме того, точность распознавания взгляда может зависеть от настроек программы и состояния человека. Подобный способ управления также вынуждает пользователей концентрироваться и исключать лишние движения глаз, что провоцирует головокружение и укачивание. Это не позволяет использовать данную программу в течение длительного времени [25].

Несмотря на некоторые ограничения, управление компьютером с помощью взгляда имеет большой потенциал как в рамках применения в реабилитации глазодвигательных нарушений и когнитивных функций, так и для адаптации пациентов. Оно может использоваться для создания более

эффективных и удобных систем управления различными устройствами, такими как компьютер, «умный дом», протезы, экзоскелеты, инвалидные коляски, функциональные кровати и другие устройства [25].

### УПРАВЛЕНИЕ КОМПЬЮТЕРОМ С ПОМОЩЬЮ РОТОВОЙ ОБЛАСТИ И ЯЗЫКА

Лица с тетраплегией так или иначе зависят от альтернативных интерфейсов для управления компьютером, которые позволяют им поддерживать коммуникацию с другими людьми и быть социально активными. В таких случаях могут быть рассмотрены варианты бесконтактного управления компьютером при помощи языка и губ [39, 40].

### ПРИМЕНЕНИЕ В РЕАБИЛИТАЦИИ

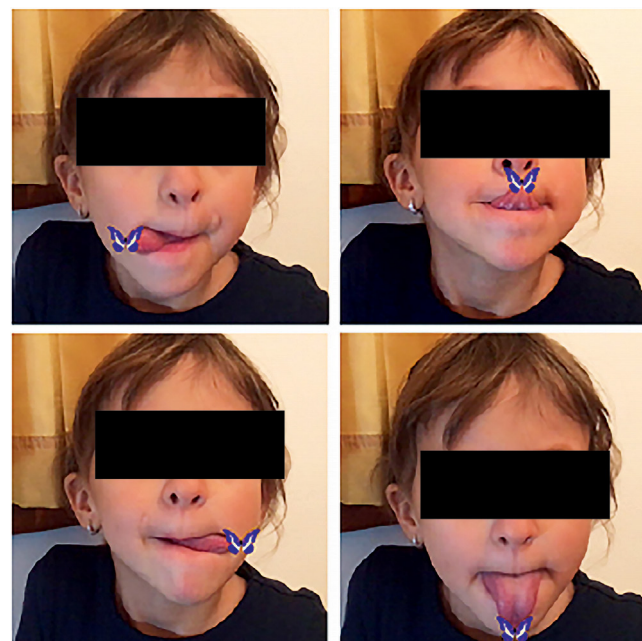
В исследовании А. Bandini и соавт. представлена неинвазивная программа для определения степени гипокинетической дизартрии у пациентов с болезнью Паркинсона, которая основана на компьютерном зрении. Помимо оценки гипокинетической дизартрии у данной группы пациентов, авторы планируют разработать и внедрить артикуляционные упражнения и использовать их в домашних условиях, так как на данный момент логопедическая реабилитация остается малодоступной для большинства пациентов с болезнью Паркинсона [41].

В публикации Z. Bilková и соавт. представлен похожий интерфейс для осуществления логопедической реабилитации. Авторы связали движения языка и персонажей компьютерной игры, что у детей увеличивало мотивацию к упражнениям (рис. 7). Кроме того, данный интерфейс мог использоваться людьми с тетрапарезом для управления различными электронными устройствами, в том числе и компьютером [42].

На данный момент созданы и другие похожие интраоральные языковые интерфейсы, применяемые при реабилитации нарушения глотания, движения языка и логопедической реабилитации [43].

**Рис. 7.** Пример упражнения для языка с добавлением дополненной реальности [42]

**Fig. 7.** An example of a language exercise with augmented reality [42]



## ПРИМЕНЕНИЕ В АДАПТАЦИИ

Разработан интраоральный языковой инструмент для пациентов с тетраплегией. Данный интерфейс изготавливается индивидуально для каждого пациента и встраивается в ротовую полость пользователя. Датчик состоит из области клавиатуры с 10 клавишами и области коврика для мыши (рис. 8), с помощью которых пациент может печатать что-либо на компьютере [39].

При использовании данных систем отмечаются некоторые недостатки. Во-первых, это небольшое количество датчиков: на один датчик приходится несколько функций или символов, что усложняет процесс использования. Во-вторых, невозможно одновременно разговаривать и управлять компьютером.

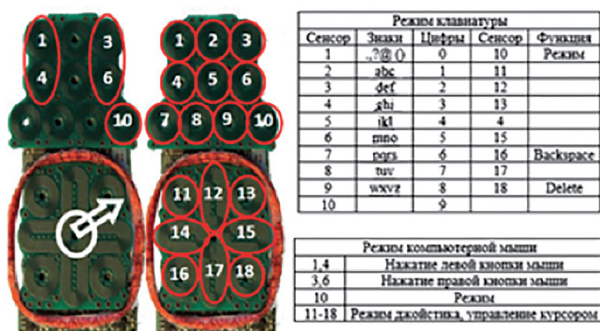
Разработаны также и другие неинвазивные системы для управления компьютером, которые улавливают движения языка в ротовой полости и изменения давления в челюстно-подъязычной мышце для управления компьютерной мышью [44], как, например, Tongue-Drive System (TDS), которая показала многообещающие результаты, позволяя людям с тетраплегией управлять компьютерами, инвалидными колясками и смартфонами [45].

Кроме того, довольно популярными инструментами управления курсором являются Jouse 2<sup>1</sup> (рис. 9), IntegraMouse<sup>2</sup>, LipStick<sup>3</sup> и их аналоги. Данные девайсы представляют собой bluetooth-контроллер для языка и губ, выполненный в форме рычага. Рычаг перемещается при помощи губ или языка, и таким образом совершается перемещение курсора.

Вышеуказанные интерфейсы часто ограничены в количестве доступных команд и имеют низкую точность управления.

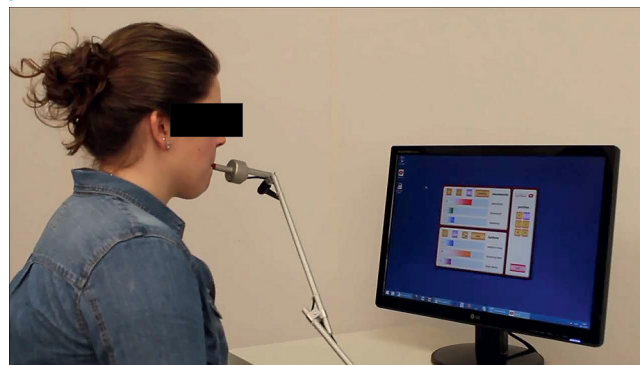
**Рис. 8.** Интраоральные датчики и связанные с ними функции: слева — работа в режиме компьютерной мыши; справа — работа в режиме клавиатуры. Переключение между режимами осуществляется путем активации датчика «10» на 10 секунд [39]

**Fig. 8.** Intraoral sensors and related functions: on the left — operation in computer mouse mode; on the right — operation in keyboard mode. Switching between modes is performed by activating the "10" sensor for 10 seconds [39]



**Рис. 9.** Устройство LipStick для управление курсором при помощи движения губ и языка<sup>4</sup>

**Fig. 9.** LipStick device for controlling the cursor using the movement of the lips and tongue<sup>4</sup>



## УПРАВЛЕНИЕ КОМПЬЮТЕРОМ ПРИ ПОМОЩИ ГОЛОСА

Голосовое управление компьютером — перспективная бесконтактная технология, которая позволяет людям с ограниченными возможностями управлять компьютером при помощи голосовых команд, что особенно важно для лиц с тяжелыми неврологическими нарушениями, нарушениями опорно-двигательного аппарата или зрения. Наиболее актуально использование такой системы для организации реабилитационных процессов, что позволяет восстанавливать коммуникативные навыки, обеспечивать образовательную и профессиональную интеграцию и упрощать повседневное взаимодействие с цифровой средой.

## ПРИМЕНЕНИЕ В РЕАБИЛИТАЦИИ

За последнее десятилетие системы искусственного интеллекта распознавания речи научились эффективно понимать ее благодаря машинному обучению на обширных базах данных и постоянному подстраиванию под пользователя [46]. Разрабатываются новые технологии голосового управления, которые применяются как инструмент логопедической реабилитации, позволяющий сочетать возможности искусственного интеллекта с традиционными методами коррекции речи. Такие проекты, как Project Euphonia<sup>5</sup>, Project Relate<sup>6</sup> и Voiceitt<sup>7</sup>, используют адаптивное распознавание речи у пациентов с дизартрией и афазией, что дает возможность таким лицам не только управлять компьютером и смартфоном при помощи голоса, но и выполнять логопедические упражнения с обратной связью в виде текстовых и голосовых подсказок.

Популярные в последнее время «умные колонки» помогают людям с нарушениями речи проводить тренировки в домашних условиях. Благодаря голосовым помощникам пациенты могут сочетать бытовую активность с логопедическими упражнениями, в том числе создавать список покупок, ставить таймер или будильник, узнавать погоду, включать фильмы или совершать звонки при помощи голосовых команд. Некоторые «умные колонки» оснащены мини-игра-

<sup>1</sup> Assistive Technology Center. Jouse 2. Assistive Technology Center. URL: <https://www.assistivetechcenter.org/technology/jouse-2/> (дата обращения — 27.01.2025).

<sup>2</sup> LIFEtool. IntegraMouse Plus. URL: <https://www.lifetool.at/hilfsmittel/lifetool-hardware/integramouse-plus/> (дата обращения — 27.01.2025).

<sup>3</sup> Spectronics Inclusive Learning Technologies. A new mouth-controlled computer mouse. URL: <https://www.spectronics.com.au/product/the-lipstick?srsltid=AfmBOopqWIfBsnPXOCWtNDBmApjL1otKz596bNybTxfr7A8G27TICic> (дата обращения — 27.01.2025).

<sup>4</sup> Там же.

<sup>5</sup> Project Euphonia. URL: <https://sites.research.google/euphonia/about/> (дата обращения — 27.04.2025).

<sup>6</sup> Project Relate. URL: <https://sites.research.google/relate/> (дата обращения — 27.04.2025).

<sup>7</sup> Voiceitt. URL: <https://www.voiceitt.com/> (дата обращения — 27.04.2025).

ми, которые способствуют тренировке речи. Отмеченные участниками недавнего исследования преимущества использования голосовых помощников: возможность регулярного применения в повседневной жизни, психологический комфорт (отсутствие стеснения из-за речевых ошибок при взаимодействии с системой), точность распознавания, нейтральная и вежливая реакция помощника — позволяют создавать комфортную среду для тренировки речи. Среди выделенных пользователями недостатков — слишком быстрая речь голосового помощника (что затрудняет восприятие для людей с речевыми нарушениями) и ограниченное понимание команд [46].

## ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АДАПТАЦИИ

Один из вариантов голосового управления представлен в системе Vocal Joystick [47, 48]. В данной программе курсор компьютера перемещается при произнесении определенных звуков. Курсор движется в одном из восьми направлений, пока пациент воспроизводит конкретный звук. В качестве недостатков такой системы можно выделить ограниченное количество направлений движения курсора, а также необходимость поддерживать его оптимальную скорость, поскольку в случае низкой скорости курсора требуется долго произносить звук, а при высокой скорости существует вероятность промахнуться мимо цели [49].

Другой вид голосового управления основан на использовании технологий распознавания речи и голосовых команд. Компьютер или другое устройство оснащается микрофоном, улавливающим звуковые волны, создаваемые голосом пользователя. Затем эти звуковые волны преобразуются в цифровой сигнал, который обрабатывается алгоритмами распознавания речи, определяющими, какие слова произносит пользователь. Установив заданные слова, компьютер выполняет соответствующие команды<sup>8</sup>.

В настоящее время на базе искусственного интеллекта активно разрабатываются системы, способные разобрать и преобразовать в текст или голосовое сообщение речь

пациентов с дизартрией. Создание данных систем позволяет упростить коммуникацию пациентов с врачом и близкими людьми<sup>9</sup>.

В некоторых случаях голосовое управление может быть затруднено, например, при фоновом шуме или у пациентов с тяжелыми формами дизартрии. Для таких ситуаций разрабатываются мультимодальные программы, сочетающие в себе технологии отслеживания глаз и голосовые команды [50, 51].

Среди достоинств голосового управления отмечается простота его использования: оно не требует от пользователя специальных навыков или обучения. Кроме того, голосовые команды могут выполняться быстрее, чем команды, вводимые с помощью клавиатуры и компьютерной мыши. Однако имеются и некоторые ограничения, в том числе недостаточная точность распознавания: алгоритмы распознавания речи все еще находятся на стадии разработки и могут неточно идентифицировать некоторые слова и фразы, они также ограничены в использовании пациентами с дефектами речи. Кроме того, голосовое управление может быть затруднено из-за фоновых шумов.

В целом голосовое управление является многообещающей технологией, которая способна улучшить качество жизни людей с ограниченными возможностями.

## ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕГРАЦИИ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ И АДАПТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БЕСКОНТАКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Современные технологии бесконтактного управления компьютером позволяют объединить реабилитационные и адаптационные методики и создать новые персонализированные подходы к восстановлению утраченных функций. Данный принцип функциональной комплементарности обеспечивает двойной эффект: с одной стороны, за счет целенаправленных упражнений стимулируется нейропластичность, с другой — поддерживается функциональная независимость в повседневной жизни (табл.). Такой интегрированный

**Таблица.** Интеграция реабилитационных и адаптационных возможностей технологий бесконтактного управления

**Table.** Integration of rehabilitation and adaptation capabilities of contactless control technologies

| Технология           | Реабилитация (восстановление функции)                              | Адаптация (компенсация нарушений)                                             | Комбинированный потенциал                                                    |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Компьютерное зрение  | Тренировка крупной и мелкой моторики [12]                          | Управление курсором компьютера [22]                                           | Постепенный переход от адаптации к реабилитации путем усложнения заданий [7] |
| Ай-трекинг           | Реабилитация когнитивных функций (внимание, память, мышление) [29] | Управление компьютером, «умным домом», функциональными кроватями и т. д. [36] | Одновременная когнитивная реабилитация и функциональная адаптация [28]       |
| Управление языком    | Артикуляционная гимнастика [39]                                    | Интраоральная клавиатура [43]                                                 | Совмещение логопедических упражнений с управлением компьютером [44]          |
| Голосовое управление | Логопедическая коррекция <sup>10</sup>                             | Ввод текста, управление компьютером и «умным домом» <sup>11</sup>             | Постоянная тренировка речи через бытовые команды [46]                        |

<sup>8</sup> Spectronics Inclusive Learning Technologies. A new mouth-controlled computer mouse. URL: <https://www.spectronics.com.au/product/the-lipstick?srsltid=AfmBOopqwWIfBsnPXOCWtNDBmApjL1otKz596bNybTxfr7A8G27TICic> (дата обращения — 27.01.2025); Assistive Technology Center. Jouse 2. Assistive Technology Center. URL: <https://www.assistivetechologycenter.org/technology/jouse-2/> (дата обращения — 27.01.2025).

<sup>9</sup> Assistive Technology Center. Jouse 2...; Spectronics Inclusive Learning Technologies. A new mouth-controlled computer mouse. URL: <https://www.spectronics.com.au/product/the-lipstick?srsltid=AfmBOopqwWIfBsnPXOCWtNDBmApjL1otKz596bNybTxfr7A8G27TICic> (дата обращения — 27.01.2025).

<sup>10</sup> Project Euphonia. URL: <https://sites.research.google/euphonia/about/> (дата обращения — 27.04.2025).

<sup>11</sup> Project Relate. URL: <https://sites.research.google/relate/> (дата обращения — 27.04.2025).

подход значительно повышает мотивацию пациентов к реабилитационному процессу.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные технологии бесконтактного управления компьютером при реабилитации основаны на использовании компьютерного зрения, нейронных сетей и машинного обучения и предназначены для выполнения различных действий на компьютере и других электронных устройствах. Они позволяют создавать удобные интерфейсы, которые могут быть адаптированы под индивидуальные потребности лиц с тяжелыми неврологическими нарушениями.

Анализ преимуществ и недостатков каждой технологии показал, что все они имеют большой потенциал для применения в медицине, в том числе восстановительной. Технология бесконтактного управления компьютером может быть использована в качестве одного из перспективных инструментов двигательной, когнитивной и логопедической реабилитации. Для этого требуется разработать и внедрить методику, которая будет предусматривать постепенное усложнение процесса управления курсором компьютера.

Обращает на себя внимание некоторое «разобщение» спектра использования бесконтактного управления компьютером: направление адаптации часто не пересекается с направлением реабилитации, хотя, с нашей точки зрения, некоторое усложнение условий адаптации (например, написание текста с помощью перемещения сегментов тела) уже будет являться реабилитационным воздействием.

Проведенный анализ показывает, что технологии бесконтактного управления компьютером могут служить как для реабилитации (восстановления утраченных функций, в том числе моторики или речи), так и для адаптации к повседневной жизни (посредством альтернативного ввода данных). Важным направлением будущих исследований является разработка комбинированных систем, в которых адаптационные интерфейсы постепенно усложняются, превращаясь в инструменты реабилитации.

Результаты данного литературного обзора могут стать основой для дальнейших исследований в области бесконтактного управления компьютером. Они позволят разработать более эффективные и удобные системы управления, которые будут способствовать улучшению качества жизни людей с ограниченными возможностями.

## Вклад авторов / Contributions

Все авторы внесли существенный вклад в подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Вклад каждого из авторов: Савчиц Д.О. — формирование идеи, анализ отечественных и зарубежных публикаций, написание и редактирование текста рукописи; Прокопенко С.В. — формирование идеи, формулировка цели и задач, проверка критически важного содержания, утверждение рукописи для публикации; Субочева С.А. — формирование цели и задач, анализ отечественных и зарубежных публикаций, проверка критически важного содержания.

All the authors made a significant contribution to the preparation of the article, read and approved the final version before publication. Special contribution: Savchits, D.O. — formation of an idea, analysis of domestic and foreign publications, writing and editing manuscript text; Prokopenko, S.V. — formation of an idea, formulation of aims and objectives, critical content verification, approval of the manuscript for publication; Subочева, S.A. — formation of aims and objectives, analysis of domestic and foreign publications, critical content verification.

## Конфликт интересов / Disclosure

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.  
The authors declare no conflict of interest.

## Финансирование / Funding source

Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.  
This study was not supported by any external sources of funding.

## Об авторах / About the authors

Савчиц Дарья Олеговна / Savchits, D.O. — аспирант кафедры нервных болезней с курсом последипломного образования по специальности «Неврология» Института профессионального образования ФГБОУ ВО КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого Минздрава России. eLIBRARY.RU SPIN: 9425-5854. <https://orcid.org/0000-0001-9161-5235>. E-mail: dar.shabalina@gmail.com

Прокопенко Семён Владимирович / Prokopenko, S.V. — д. м. н., профессор, заведующий кафедрой нервных болезней с курсом последипломного образования Института профессионального образования ФГБОУ ВО КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого Минздрава России. eLIBRARY.RU SPIN: 1279-7072. <https://orcid.org/0000-0002-4778-2586>. E-mail: s.v.proc.58@mail.ru

Субочева Светлана Алексеевна / Subочева, S.A. — к. м. н., доцент кафедры нервных болезней с курсом последипломного образования Института профессионального образования ФГБОУ ВО КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого Минздрава России. eLIBRARY.RU SPIN: 1541-8273. <https://orcid.org/0000-0001-9916-6235>. E-mail: Sveta162007@mail.ru

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Debnath B., O'Brien M., Yamaguchi M., Behera A. A review of computer vision-based approaches for physical rehabilitation and assessment. *Multimed. Syst.* 2022;28:209–39. DOI: 10.1007/s00530-021-00815-4
2. Choo Y.J., Chang M.C. Use of machine learning in stroke rehabilitation: a narrative review. *Brain Neurorehabil.* 2022;15(3):e26. DOI: 10.12786/bn.2022.15.e26
3. Шабалина Д.О., Храмченко М.А., Зулкайдарова А.Р., Субочева С.А. и др. Дистанционная реабилитация пациентов с рассеянным склерозом (обзор литературы). *Сибирское медицинское обозрение.* 2023;5:5–11. Shabalina D.O., Khranchenko M.A., Zulkaidarova A.R., Subочева S.A. et al. Remote rehabilitation

of patients with multiple sclerosis (a literature review). *Siberian Medical Review.* 2023;5:5–11. (in Russian). DOI: 10.20333/25000136-2023-5-5-11

4. Rezende D.M., Rozatto P.V. de M., Almeida D.J.N. de, Namorato F. de L. et al. A computer vision-based architecture for remote physical rehabilitation. *Journal of Mobile Multimedia.* 2022;20(04):879–900. DOI: 10.13052/jmm1550-4646.2045

5. Журнова Л.В. Компьютерные ассистивные устройства и технологии как техническое средство реабилитации для людей с нарушением опорно-двигательного аппарата. *Медико-социальные проблемы инвалидности.* 2015;3:110–9. Zhironova L.V. Computer assistive devices and technologies as a technical means of rehabilitation for people with the impairment of the

- supporting-motional apparatus functions. *Medical-Social Problems of Disability*. 2015;3:110–9. (in Russian)
6. Gu Y., Xu Y., Shen Y., Huang H. et al. A review of hand function rehabilitation systems based on hand motion recognition devices and artificial intelligence. *Brain Sci*. 2022;12(8):1079. DOI: 10.3390/brainsci12081079
  7. Chen J., Zhao S., Meng H., Cheng X. et al. An interactive game for rehabilitation based on real-time hand gesture recognition. *Front. Physiol*. 2022;13:1028907. DOI: 10.3389/fphys.2022.1028907
  8. Oudah M., Al-Naji A., Chahl J. Hand gesture recognition based on computer vision: a review of techniques. *J. Imaging*. 2020;6(8):73. DOI: 10.3390/jimaging6080073
  9. Sucar L., Luis R., Leder R., Hernandez J. et al. Gesture therapy: a vision-based system for upper extremity stroke rehabilitation. *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* 2010;2010:3690–3. DOI: 10.1109/IEMBS.2010.5627458
  10. Vigliarola R.M., Condino S., Turinia G., Mamone V. et al. Interactive serious game for shoulder rehabilitation based on real-time hand tracking. *Technol. Health Care*. 2020;28(4):403–14. DOI: 10.3233/THC-192081
  11. Tchanchane R., Zhou H., Zhang S., Alici G. A review of hand gesture recognition systems based on noninvasive wearable sensors. *Adv. Intell. Syst.* 2023;5(10):2300207. DOI: 10.1002/aisy.202300207
  12. Zestas O.N., Soumis D.N., Kyriakou K.D., Seklou K. et al. A computer-vision based hand rehabilitation assessment suite. *Int. J. Electron. Commun.* 2023;169:154762. DOI: 10.1016/j.aee.2023.154762
  13. Francisco J.A., Rodrigues P.S. Computer vision based on a modular neural network for automatic assessment of physical therapy rehabilitation activities. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 2022;31:2174–83. DOI: 10.1109/TNSRE.2022.3226459
  14. Pradeep V., Srusti P.S., Afiza A., Pragathi G.G. et al. Virtual mouse controlled by hand gestures. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. 2024;4(3):74–7. DOI: 10.48175/IJARSCT-22813
  15. Zestas O.N., Tselikas N.D. Sollerman hand function sub-test "Write with a Pen": a computer-vision-based approach in rehabilitation assessment. *Sensors (Basel)*. 2023;23:6449. DOI: 10.3390/s23146449
  16. Papagiannis G., Triantafyllou A., Yiannopoulou K.G., Georgoudis G. et al. Hand dexterities assessment in stroke patients based on augmented reality and machine learning through a box and block test. *Sci. Rep.* 2024;14(1):10598. DOI:10.1038/s41598-024-61070-x
  17. Hondori H.M., Khademi M., Dodakian L., McKenzie A. et al. Choice of human-computer interaction mode in stroke rehabilitation. *Neurorehabil. Neural Repair*. 2015;30(3):258–65. DOI: 10.1177/1545968315593805
  18. Yoda I., Ito K., Nakayama T. Modular gesture interface for people with severe motor dysfunction: foot recognition. *Stud. Health Technol. Inform.* 2017;242:725–32. DOI: 10.3233/978-1-61499-798-6-725
  19. Rahmaniar W., Ma'arif A.S., Lin T.L. Touchless head-control (THC): head gesture recognition for cursor and orientation control. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 2022;30:1817–28. DOI: 10.1109/TNSRE.2022.3187472
  20. Gür D., Schäfer N., Kupnik M., Beckerle P. A human-computer interface replacing mouse and keyboard for individuals with limited upper limb mobility. *Multimodal Technol. Interact.* 2020;4(4):84. DOI: 10.3390/mti4040084
  21. Arslan M., Idoko J.B., Abiyev R.H. Head movement mouse control using convolutional neural network for people with disabilities. In: Aliev R.A., Kacprzyk J., Pedrycz W., Jamshidi M., eds. *13th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing — ICAFS-2018 (Warsaw, August 27–28, 2018)*. Cham: Springer; 2019: 239–48. DOI: 10.1007/978-3-030-04164-9\_33
  22. Šumak B., Špindler M., Debeljak M., Heričko M. et al. An empirical evaluation of a hands-free computer interaction for users with motor disabilities. *J. Biomed. Inform.* 2019;96:103249. DOI: 10.1016/j.jbi.2019.103249
  23. Abiyev R.H., Arslan M. Head mouse control system for people with disabilities. *Expert Systems*. 2019;37(1):e12398. DOI: 10.1111/exsy.12398
  24. Mosquera-DeLaCruz J.H., Loaiza-Correa H., Nope-Rodriguez S.E., Restrepo-Girón A.D. Human-computer multimodal interface to internet navigation. *Disabil. Rehabil. Assist. Technol.* 2020;16(8):807–20. DOI: 10.1080/17483107.2020.1799440
  25. Бодров К.О., Зайнутдинов А.Д., Бодров О.Г. Методы и средства реабилитационной помощи. Программно-аппаратный комплекс «Умная палата». *Электроника, фотоника и киберфизические системы*. 2023;2:90–8. Bodrov K.O., Zainutdinov A.D., Bodrov O.G. Methods and means of rehabilitation assistance. Software and hardware complex "Smart Room". *Electronics, Photonics and Cyberphysical Systems*. 2023;2:90–8. (in Russian)
  26. Gibaldi A., Vanegas M., Bex P.J., Maiello G. Evaluation of the Tobii EyeX Eye tracking controller and Matlab toolkit for research. *Behav. Res. Methods*. 2017;49(3):923–46. DOI: 10.3758/s13428-016-0762-9
  27. Rawlani S., Biyani P., Juneja S. Eye tracking — an extensive evaluation of a contemporary and ingenious technology. *Int. J. Comput. Appl.* 2018;179(53):5–11. DOI: 10.5120/ijca2018917276
  28. Mikhailenko M., Maksimenko N., Kurushkin M. Eye-tracking in immersive virtual reality for education: a review of the current progress and applications. *Front. Educ.* 2022;7:697032. DOI: 10.3389/feduc.2022.697032
  29. Moon S.J., Park C.H., Jung S.I., Yu J.W. et al. Effects of an eye-tracking linkage attention training system on cognitive function compared to conventional computerized cognitive training system in patients with stroke. *Healthcare (Basel)*. 2022;10(3):456. DOI: 10.3390/healthcare10030456
  30. Gestefeld B., Koopman J., Vrijling A., Cornelissen F. et al. Eye tracking and virtual reality in the rehabilitation of mobility of hemianopia patients: a user experience study. *Vision Rehabilitation International*. 2020;11(1):7–19. DOI: 10.21307/vri-2020-002
  31. Sahraie A., Smania N., Zihl J. Use of NeuroEyeCoach to improve eye movement efficacy in patients with homonymous visual field loss. *BioMed Res. Int.* 2016;10:1–9. DOI: 10.1155/2016/5186461
  32. Edughele H.O., Zhang Y., Muhammad-Sukki F., Vien Q.T. et al. Eye-tracking assistive technologies for individuals with amyotrophic lateral sclerosis. *IEEE Access*. 2022;10:41952–72. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3164075
  33. Linse K., Rüger W., Joos M., Schmitz-Peiffer H. et al. Usability of eyetracking computer systems and impact on psychological wellbeing in patients with advanced amyotrophic lateral sclerosis. *Amyotroph. Lateral Scler. Frontotemporal Degener.* 2022;19(3–4):212–9. DOI: 10.1080/21678421.2017.1392576
  34. Gatdula M.V. Assistive technology for locked-in syndrome patients using eye tracker. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2020;9(1.1):119–24. DOI: 10.30534/ijatcse/2020/2291.12020
  35. Zhang X., Liu X., Yuan S.M., Lin S.F. Eye tracking based control system for natural human-computer interaction. *Comput. Intell. Neurosci.* 2017;2017:5739301. DOI: 10.1155/2017/5739301
  36. Dahmani M., Chowdhury M.E.H., Khandakar A., Rahman T. et al. An intelligent and low-cost eye-tracking system for motorized wheelchair control. *Sensors (Basel)*. 2020;20(14):3936. DOI: 10.3390/s20143936
  37. Eid M.A., Giakoumidis N., El Saddik A. A Novel eye-gaze-controlled wheelchair system for navigating unknown environments: case study with a person with ALS. *IEEE Access*. 2016;4:558–73. DOI: 10.1109/access.2016.2520093
  38. Kopecek M., Kremlacek J. Eye-tracking control of an adjustable electric bed: construction and validation by immobile patients with multiple sclerosis. *J. Neuroeng. Rehabil.* 2023;20(1):75. DOI: 10.1186/s12984-023-01193-w
  39. Lotte N.S., Andreasen Struijk L., Lontis E.R., Gaihede M., Caltenco H.A. et al. Development and functional demonstration of a wireless intraoral inductive tongue computer interface for severely disabled persons. *Disabil. Rehabil. Assist. Technol.* 2017;12(6):631–40. DOI: 10.1080/17483107.2016.1217084
  40. Khan M.M., Sherazi H.I., Quain R. Tongue-supported human-computer interaction systems: a review. *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* 2014;2014:1410–5. DOI: 10.1109/EMBC.2014.6943864
  41. Bandini A., Orlandi S., Giovannelli F., Felici A. et al. Markerless analysis of articulatory movements in patients with Parkinson's

- disease. *J. Voice*. 2016;30(6):766.e1–11. DOI: 10.1016/j.jvoice.2015.10.014
42. Bilková Z., Novozamsky A., Bartoš M., Dominec A. et al. Human computer interface based on tongue and lips movements and its application for speech therapy system. *IS&T Int. Symp. Electron. Imaging*. 2020;32(1):389–1–5. DOI: 10.2352/ISSN.2470-1173.2020.1.VDA-389
  43. Furlan R.M.M.M., Santana G.A., Bischof W.F., Motta A.R. et al. A new method for tongue rehabilitation with computer games: pilot study. *J. Oral Rehabil*. 2019;46(6):518–25. DOI: 10.1111/joor.12775
  44. Chou C.H., Hwang Y.S., Chen C.C., Chen S.C. et al. Noninvasive tongue-motion controlled computer mouse for the disabled. *Technol. Health Care*. 2016;24(3):401–8. DOI: 10.3233/THC-161137
  45. Kim J., Park H., Bruce J., Rowles D. et al. Assessment of the tongue-drive system using a computer, a smartphone, and a powered-wheelchair by people with tetraplegia. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng*. 2016;24(1):68–78. DOI: 10.1109/TNSRE.2015.2405072
  46. Qian Z., Xiao K. A survey of automatic speech recognition for dysarthric speech. *Electronics*. 2023;12(20):4278. DOI: 10.3390/electronics12204278
  47. Núñez Macías N.N., Hielscher-Fastabend M., Buschmeier H. Use and acceptance of voice assistants among people with aphasia in Germany. *Front. Commun*. 2023;8:1176475. DOI: 10.3389/fcomm.2023.1176475
  48. Harada S., Landay J.A., Malkin J., Li X. et al. The Vocal Joystick: evaluation of voice-based cursor control techniques for assistive technology. *Disabil. Rehabil. Assist. Technol*. 2008;3(1):22–34. DOI: 10.1080/17483100701352963
  49. Пересуныко П.В. Обзор методов построения взаимодействия человек — компьютер в задаче управления курсором компьютера. Труды «НПЦАП». Системы и приборы управления. 2022;4(62):26–39. Peresunko P.V. Review of techniques for developing human — computer interactions in the challenge of computer cursor control. Works of Federal State Unitary-Enterprise "Academician Pilyugin Scientific-Production Center of Automatics and Instrument-Making". Control Systems and Instruments. 2022;4(62):26–39. (in Russian)
  50. Mayuri T., Poonam D., Rohini A., Londhe A. EMIVR based smart computer. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*. 2020;7(3):397–400. DOI: 10.32628/IJSRST207380
  51. Jayasri A.R., Kanimozhi P., Ananth Kumar T. A brief review on voice assisted hands-free virtual painting system. *Middle East Journal of Applied Science & Technology*. 2023;6(4):1–6. DOI: 10.46431/MEJAST.2023.6401 

Поступила / Received: 04.02.2025

Принята к публикации / Accepted: 07.04.2025