

*И.В. Широлапов, А.В. Захаров, А.А. Шишкина, М.С. Сергеева, Ю.С. Комарова,  
Н.П. Романчук, В.М. Баннов, О.Г. Кузнецова, Е.В. Хивинцева*

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОГО КОГНИТИВНОГО ТРЕНИНГА ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ КОГНИТИВНЫХ НАРУШЕНИЙ И СТИМУЛЯЦИИ НЕЙРОПЛАСТИЧНОСТИ

Самарский государственный медицинский университет, 443099, Самара, ул. Чапаевская, 89,  
e-mail: ishirolapov@mail.ru

Компьютеризированный когнитивный тренинг (ККТ) представляет собой быстро развивающееся направление когнитивной реабилитации на пересечении информационных технологий и здравоохранения, постоянно обновляемые результаты которого возможно с успехом транслировать в сферу практического применения в клинической медицине и, в частности, в геронтологии. Основу ККТ, как неинвазивного метода воздействия на функциональную активность мозга и процессы нейропластичности, составляет программное обеспечение для стимуляции когнитивных функций с целью улучшения их продуктивности. Научный и практический интерес к технологии ККТ растет быстрыми темпами, и в определенной степени он даже больше, чем к некоторым другим областям реабилитации, ориентированным на здоровое старение. В статье сообщается о современном состоянии исследований применения ККТ, направленного на коррекцию когнитивных нарушений. Цель настоящей работы — не только систематизировать имеющиеся научные данные в этой области, но также способствовать дальнейшей интеграции быстро развивающихся исследований в области информационных технологий в клиническую практику. В частности, необходимо изучить потенциал ККТ как перспективного терапевтического инструмента в парадигме успешного старения и профилактики прогрессирования когнитивных нарушений. Проведенный анализ показывает, что такое вмешательство может улучшить глобальные когнитивные функции у пациентов с клинически установленными нарушениями и в процессе нормального старения у когнитивно-здоровых людей пожилого возраста. Однако необходимы новые исследования с максимально сопоставимыми протоколами, чтобы более детально оценить длительность эффекта и результативность ККТ для предотвращения снижения когнитивных функций в долгосрочной перспективе.

**Ключевые слова:** компьютеризированный когнитивный тренинг, успешное старение, когнитивная реабилитация, тренинг в виртуальной реальности, когнитивно-стимулирующая деятельность, болезнь Альцгеймера, деменция, легкое когнитивное расстройство, когнитивный дефицит

Методики когнитивного обучения и реабилитации направлены на улучшение нейропсихологических способностей с помощью специальных стратегий, основанных на когнитивных моделях. В частности, инновационные методы, реализуемые с помощью компьютеризированных систем, используют мультимедийные и компьютерные ресурсы посредством аппаратных и программных алгоритмов для активизации таких когнитивных функций, как внимание, память, принятие решений, речь и исполнительные функции. Компьютеризированные методы основаны на многократной тренировке конкретных когнитивных областей путем выполнения заданий, требующих определенных навыков, при этом в центре ККТ-технологии (ККТ — компьютеризированный/компьютерный когнитивный тренинг) находится программное обеспечение, специально предназначенное для тренировки когнитивных функций [39, 44]. Используют компьютерные обучающие программы, направленные преимущественно на одну когнитивную область (например, внимание), или более сложные, нацеленные на несколько доменов. Количество научных работ в таком интегративном направлении с трансфером информационных технологий в медико-социальную сферу интенсивно увеличивается, как и категории испытуемых, на которых применяют компьютеризированные методики когнитивного обучения. К настоящему времени накапливаются данные исследований применения ККТ у здоровых людей пожилого возраста без клинически выраженных когнитивных нарушений, а также при нейродегенеративных заболеваниях, шизофрении, деменции, нарушениях мозгового кровообращения, легких когнитивных нарушениях, рассеянном склерозе и у детей с поведенческими расстройствами по типу синдрома дефицита внимания и гиперактивности [3, 19, 23, 33].

Учитывая стремительное развитие исследований и увеличение доступности ККТ в последнее десятилетие, крайне важно обновлять последние данные об эффективности и применимости этого вмешательства в различных возрастных и социальных группах для информирования клинических экспертов и внедрения ключевых научных результатов в реальную практику. В соответствии с этим было проанализировано, является ли ККТ эффективным вмешательством для борьбы с возраст-ассоциированным снижением когнитивных функций, в том числе у лиц с клинически подтвержденным когнитивным дефицитом. Таким образом, цель настоящей работы — систематизация современной научной информации о возможностях технологии компьютеризированной когнитивно-стимулирующей деятельности по предотвращению снижения когнитивных функций и изучение взаимосвязи характеристик вмешательства и конкретных когнитивных результатов.

### Компьютеризированный когнитивный тренинг как технологичная форма когнитивной реабилитации

На фоне увеличивающейся обеспокоенности по поводу растущего глобального бремени нейродегенеративных заболеваний, ассоциированной с увеличением численности населения старшего возраста во всем мире, и в отсутствие достаточных доказательств исключительной эффективности известных фармакологических подходов, в качестве меры по улучшению когнитивных функций было предложено использовать когнитивное обучение. Такой тренинг, включающий повторяющиеся

действия, основан на теории пластичности мозга [16, 32]. С развитием информационных технологий традиционный когнитивный тренинг постепенно заменяется компьютеризированным когнитивным обучением в условиях, когда целевая аудитория имеет адекватный доступ к соответствующим ресурсам. В совокупности, ККТ рассматривается как высокотехнологичная форма нейрореабилитации и когнитивно-стимулирующей деятельности, при которой людям предлагается ряд когнитивных упражнений с применением компьютеров, планшетов, виртуальной реальности и мобильных устройств (рисунки). Цифровые приложения позволяют пациенту самостоятельно или при помощи социального/медицинского персонала получить доступ к увлекательным и интерактивным когнитивным практикам, при этом ККТ может состоять из программы обучения и отработки стандартных заданий без явных инструкций по запоминанию или стратегиям решения проблем [14, 44]. По сравнению с некомпьютеризированной/традиционной методикой, ККТ-технология является более доступной, масштабируемой и гибкой для адаптации к индивидуальным способностям. Учитывая определенную игровую направленность, такая когнитивно-стимулирующая деятельность может способствовать дополнительной вовлеченности субъектов в процесс реабилитации, восприниматься как вознаграждение само по себе и вызывать длительный интерес как неинвазивное, безопасное, относительно недорогое и доступное вмешательство, способное поддержать когнитивные функции у пожилых людей. Рассматривается, что когнитивные вмешательства с применением компьютерных технологий



повышают мотивацию и комплаентность участников благодаря наличию обратной связи, интересным и разносторонним заданиям и высокой адаптации в соответствии с результатами [37, 45].

В целом нефармакологические вмешательства (физическая активность, образовательные тренинги и технологии виртуальной реальности, новые пищевые стратегии, нейрореабилитация с использованием технологии биоуправления и интерфейса мозг—компьютер) могут способствовать здоровому старению, замедляя наступление и прогрессирующее нарушение в когнитивной, двигательной и других сферах [1, 2, 6, 10, 28, 55]. В связи с непрерывным глобальным старением населения во всем мире, в последние годы возрос интерес к программам когнитивно-требовательной деятельности, направленным на активацию высших интегративных функций мозга и индивидуальной когнитивной продуктивности у людей старшего возраста. В соответствии с вызовами времени, требуется постоянная оптимизация имеющихся реабилитационных программ и диагностических подходов, разработка новых стратегий профилактики, инструментальной диагностики и моделирования когнитивных и иных возраст-ассоциированных нарушений в парадигме успешного старения, в том числе с использованием методов немедикаментозного воздействия, современных информационных технологий и нейросетевых алгоритмов [11, 38, 52, 55].

#### **Основные характеристики применяемых протоколов компьютеризированного когнитивного тренинга**

Программы ККТ, направленные на профилактику когнитивных нарушений, чаще всего включают задания на тренировку внимания, зрительного восприятия, сенсорной интеграции и упражнения для улучшения памяти. В соответствии с результатами нашего анализа, большинство исследований было проведено в виде программ когнитивно-стимулирующей деятельности с использованием персональных компьютеров, а также планшетов, в ряде протоколов применяли интерактивные видеоигры на основе технологий виртуальной реальности [34]. Участники исследования либо занимались в группах под руководством специалиста (например, врача, среднего медперсонала или обученного социального работника), либо проводили занятия по ККТ самостоятельно. Частота сессий варьировала от двух до пяти раз в неделю, в среднем три занятия в неделю. Продолжительность каждой сессии составляла 1–1,5 ч. Средняя продолжительность программы исследований составила около 10 нед

(варьировала от 1 мес до 1 года). Уровень выбывания участников составил 10% (в единичных работах мог быть до 25%). Основными причинами выхода пациентов из исследования были снижение мотивации продолжать исследование и сторонние проблемы со здоровьем, не связанные с программой когнитивного вмешательства. Содержательная часть тренингов была разнообразной и направлена на развитие нескольких сфер когнитивного функционирования. Большинство программ ККТ включает несколько видов деятельности, таких как запоминание объектов или математические вычисления в течение ограниченного времени. Программы ККТ, особенно с использованием виртуальной реальности, иногда сочетают физические упражнения, такие как тренировка равновесия, ловкости и гибкости, а также умеренная силовая нагрузка. Во многих исследованиях участники получали обратную связь по мере выполнения каждого упражнения в реальном времени или по завершении сеанса ККТ [19, 27, 32–34, 44].

#### **Профилактика когнитивного дефицита**

Клинически формирование прогрессивного когнитивного дефицита в большинстве случаев взаимосвязано с развитием болезни Альцгеймера — нейродегенеративного заболевания с высоким уровнем прогностической инвалидизации, на долю которого приходится около 70% диагнозов деменции у пожилых людей во всем мире. Нейробиология болезни характеризуется внеклеточным отложением бляшек  $\beta$ -амилоидного пептида в коре и подкорковых областях и внутриклеточным отложением нейрофибриллярных клубков, включающих фосфорилированный белок тау [26, 51, 54]. Одной из актуальных задач фундаментальной науки по углублению наших знаний о болезни Альцгеймера является выяснение основных механизмов ее патогенеза и поиск решений, позволяющих замедлить или остановить прогрессирование заболевания.

Так, имеются сведения о причинно-следственных связях между патобиологией развития деменции альцгеймеровского типа и глимфатической недостаточностью, изменением в регуляции цикла сон—бодрствование и электрической активности нейрональных сетей мозга [8, 29, 57]. Существующие фармакологические подходы могут замедлить снижение когнитивных функций, однако глобальные стратегии лечения, модифицирующие болезнь, пока отсутствуют. Взаимосвязь увеличения амилоидных бляшек и развития когнитивных нарушений, которые обычно характерны для

таких пациентов, не всегда является столь прямой и очевидной, поскольку лечение, направленное на уменьшение отложения амилоида, относительно малоэффективно для предотвращения снижения персональной когнитивной продуктивности. Первоначальные нейрофизиологические нарушения затрагивают медиальные области височной доли, участвующие в памяти, семантическом поиске и обработке пространственных данных. Ранние когнитивные изменения обычно включают прогрессирующую потерю памяти, снижение зрительного и пространственного внимания, топографическую дезориентацию, особенно при раннем начале болезни Альцгеймера. В дальнейшем прогрессирование заболевания приобретает более масштабный характер, приводя к выраженной амнезии и значительным нарушениям интегративных функций [9, 22].

На ранних и доклинических стадиях заболевания бывает сложно выявить специфические изменения, диагностировать легкие когнитивные нарушения и дифференцировать нейродегенеративный процесс. Также известно, что некоторое снижение когнитивных функций связано со старением. При этом когнитивное старение определяется прогрессирующими изменениями в ключевых областях с высокой нейронной активностью [7, 13, 21]. Клинически обосновано, что легкое когнитивное расстройство представляет собой промежуточный этап между нормальными возрастными когнитивными изменениями и началом деменции и поэтому считается благоприятным временем для предотвращения или отсрочки конверсии заболевания [19].

### **Анализ эффективности технологии**

В последнее время всё большее число исследований направлено на оценку результативности программ ККТ, ориентированных на конкретные когнитивные сферы, в частности на память (особенно рабочую память), исполнительную функцию и скорость обработки информации [25]. Анализ эффективности ККТ продемонстрировал достоверно значимую степень влияния на когнитивные функции у здоровых пожилых людей и пациентов с легким когнитивным расстройством. Данные рандомизированных контролируемых исследований ККТ при установленном легком когнитивном расстройстве показали улучшение когнитивных способностей от небольшого до умеренного уровня [33]. В некоторых работах компьютеризированные программы когнитивной реабилитации вынужденно или преднамеренно сочетали по протоколу с другими методами терапии (например, прием фармакологических препаратов, модификация рациона питания,

физическая нагрузка), но, несмотря на это, исследователями была получена информация о специфической эффективности ККТ [27, 58].

При анализе накопленных данных важно акцентировать внимание также на выявлении и оценке ограничений и проблем представленных протоколов. Опубликованный Кохрановский обзор влияния компьютеризированной технологии на поддержание и улучшение когнитивных функций и профилактику деменции у людей с легкими когнитивными нарушениями [24] с акцентом на длительность терапии включал исключительно продолжительные вмешательства (более 12 нед). Поэтому в указанный обзор вошло только восемь исследований с небольшим объемом выборки, вследствие чего выводы об эффективности когнитивных тренингов могут быть неоднозначными. Как следует из результатов, большинство исследований имело неясный или высокий риск систематической ошибки в нескольких областях. Возможность делать выводы была затруднена невысоким уровнем доказательств, а также наличием проблем, связанных с риском предвзятости, противоречивостью исследований и косвенностью доказательств. На основании проанализированных данных авторы не смогли окончательно определить, предотвращает ли ККТ клиническую деменцию, улучшает или сохраняет когнитивные функции у людей, уже имеющих признаки когнитивных нарушений. Такие работы постулируют необходимость дальнейших исследований, направленных на повышение методологической строгости и долгосрочное наблюдение за эффектами [36].

Когнитивные тренинги основаны на протоколах, специально разработанных для снижения прогрессирования когнитивного дефицита в тех областях высшей нервной деятельности (например, нарушения функции памяти, внимания, принятия решений), которые в первую очередь изменяются при болезни Альцгеймера, а также для улучшения глобальных исполнительных функций личности [34, 46]. Несмотря на потенциальную полезность когнитивных тренингов при данном заболевании, программы обучения могут быть ассоциированы с тревогой и отрицательными эмоциями у респондентов из-за неудовлетворительных персональных результатов, что может инициировать снижение вовлеченности и приверженности лечению, рост фрустрации и депрессии [20].

В последние годы увеличивается распространение ККТ в качестве лечебно-профилактического вмешательства при терапии в домашних условиях, что обусловлено легкостью доступа к электронным устройствам и растущей потребностью в лечении

больших групп населения. Однако ряд исследователей считают, что использование ККТ для когнитивной реабилитации и лечения психических и неврологических расстройств является спорным. В частности, существуют опасения по поводу конфликта интересов компаний, заинтересованных в преувеличении эффекта своих продуктов в коммерческих целях. Кроме того, к числу других серьезных проблем, связанных с доказательством эффективности ККТ, относится разнообразие методологий и программ, применяемых способов оценки показателей результативности исследований, а также неочевидность ответа, является ли влияние эффекта на когнитивные функции длительным или улучшает их лишь на короткое время после завершения исследования [17, 33]. Считается, что улучшение когнитивной продуктивности, особенно в области памяти, а также внимания, речи и исполнительных функций, отмечено преимущественно у пациентов с легкими когнитивными нарушениями и на начальных стадиях болезни Альцгеймера, поскольку для данного этапа развития нейродегенеративного процесса характерна наибольшая остаточная функциональность [28, 35].

Для снижения негативных эффектов стресса и расширения положительной обратной связи, дизайн исследования и сложность протокола ККТ рекомендуется планировать с учетом индивидуальных потребностей каждого пациента. В частности, такой персонализированный подход будет способствовать улучшению психического состояния, памяти, беглости речи после 15 тренировочных сессий продолжительностью 1,5–2 ч, в соответствии с результатами В. Alescio-Lautier и соавт. [12]. В другом исследовании [18], где сложность программы корректировали в зависимости от индивидуальной успеваемости каждого пациента (80 человек) и использовали задания для стимуляции нарушенных когнитивных функций при ранней стадии болезни Альцгеймера, применяли структурированный протокол ККТ в ординарном режиме (30 мин, 3 дня/нед, 12 нед), что продемонстрировало эффективность для показателей исполнительной функции и памяти. При этом результаты у пациентов контрольной группы прогрессивно снижались. У испытуемых группы активного когнитивного тренинга выявлено значительное улучшение по ряду нейропсихологических тестов и когнитивных функций, а также отмечена стабильность эффекта на протяжении последующего 6-месячного периода наблюдения. Авторы сделали вывод, что структурированные программы ККТ способны замедлить снижение когнитивных способностей и улучшить

когнитивную продуктивность у пациентов на ранних стадиях болезни Альцгеймера [18].

Открытым остается вопрос о продолжительности достигнутых положительных изменений при компьютеризированной когнитивной реабилитации, поскольку дизайны большинства исследований имеют различия, и программы тренировок преимущественно рассчитаны на период до 6 мес. В пилотном исследовании Á.Rodríguez-Moга и соавт. [49] оценивали эффективность долговременной (1 год) комплексной программы когнитивного обучения: пациенты с болезнью Альцгеймера проходили тестирование на исходном уровне и с интервалом в 3 мес. Авторы не обнаружили признаков прогрессирования когнитивного дефицита и пришли к заключению, что ККТ продлевает эффект от нефармакологических вмешательств для таких пациентов на срок до 12 мес и что применение когнитивной технологии может дать родственникам уверенность в задержке развития болезни [49].

Отмечается, что когнитивные функции сохраняются при наличии структурной атрофии мозга. В недавно опубликованном исследовании J. Wu и соавт. [56] было установлено, что функциональная компенсация позволяет поддерживать высокие когнитивные показатели и повседневное функционирование, несмотря на потерю значительной части нейронов. Нейронные изменения после 8 нед ККТ, предложенного в качестве безопасного и эффективного способа нефармакологической коррекции, способствовали значимому улучшению глобальной когнитивной функции и памяти, что коррелировало с увеличением структурно-функциональных связей на сетевом уровне и повышением способности к преобразованию информации в функциональных сетях мозга [56].

Программы когнитивно-стимулирующей деятельности с использованием портативных планшетов и приложений для смартфонов также продемонстрировали свою эффективность у пациентов с болезнью Альцгеймера. При адаптации программ когнитивного вмешательства пациенты с клинически выраженным дефицитом эпизодической памяти обучались использовать планшетный компьютер для выполнения задач, направленных на персональную когнитивную продуктивность, включая планирование воображаемых встреч, и проходили тестирование путем участия в реальных мероприятиях [30]. Использование игровых форм ККТ, основанных на запоминании и планировании, сопровождалось высокой вовлеченностью пациентов с легкими амнестическими когнитивными нарушениями и способствовало устойчивому улуч-

шению зрительно-пространственных способностей и эпизодической памяти. Группа когнитивной тренировки сохраняла высокий уровень мотивации, и, более того, уверенность в себе и способность к самооценке памяти со временем улучшались [50].

Дистанционные технологии когнитивной нейрореабилитации в домашних условиях показали сопоставимый эффект на когнитивные показатели в сравнении с традиционными очными вмешательствами, что подчеркивает необходимость дальнейших исследований с использованием эквивалентных методик и метрик для масштабирования оценки эффективности телемедицинских стратегий как действительной альтернативы традиционным схемам терапии. Так, согласно результатам исследования А. Марин и соавт. [42], 24 нед долгосрочного компьютеризированного тренинга в парадигме непрерывного домашнего лечения было результативным для пациентов на стадиях легкого когнитивного расстройства и легкой деменции. Учитывая прогрессирующий характер заболевания, программы ККТ на дому могут стать полезным инструментом для поддержания когнитивных функций и качества жизни таких пациентов [42]. Таким образом, компьютеризированные платформы повышают доступность когнитивного обучения, однако необходима предварительная оценка осуществимости долгосрочных программ ККТ на дому для пациентов с деменцией [23, 43].

#### **Настоящее и будущее использования компьютеризированного когнитивного тренинга в реальной клинической практике**

Анализ научных данных свидетельствует о том, что компьютеризированные технологии когнитивного обучения эффективны и целесообразны при использовании их самостоятельно или в сочетании с другими лечебно-профилактическими вмешательствами в различных протоколах. Результативность такой комбинации зависит от совокупности факторов и применяемого воздействия. В современных исследованиях предлагаются многообещающие терапевтические подходы, которые могут сочетать метод ККТ, возможности виртуальной реальности, некомпьютеризированные/традиционные когнитивно-стимулирующие воздействия, инвазивную нейростимуляцию (например, транскраниальная магнитная стимуляция), а также физическую нагрузку, нутрициологию и новые пищевые стратегии, фармакологическую коррекцию и физиотерапию, акцентированные не только на когнитивной продуктивности, но и в целом на перспективе направленного вмешательства в механизмы здорового и нездорового старения мозга, первичную

профилактику возраст-ассоциированных заболеваний и даже вопросы увеличения продолжительности жизни [5, 31, 40, 41].

Научный интерес к ККТ растет быстрее, чем к некоторым другим областям нейрореабилитации, возможно из-за появления новых доказательств эффективности, доступности таких систем на разных платформах, а также относительной сложности механизмов оценки и переноса данных. Также интересно отметить, что протоколы ККТ, разработанные для улучшения конкретных целевых когнитивных функций, которые назначали пациентам и учитывали их субъективные потребности, демонстрировали более значительные когнитивные улучшения по сравнению с протоколами реабилитации, не имеющими специфического характера, контрольными группами плацебо или группами участников, вовлеченных в классические компьютерные игры [4, 11, 20, 28, 47, 48]. Поскольку когнитивный тренинг может улучшать функциональность нейронных сетей, лежащих в основе тренируемых когнитивных функций, отмечаемые эффекты ККТ могут отражать нейропластические процессы в головном мозге [15, 35, 53].

Таким образом, более глубокое понимание нейробиологической природы и ключевых этапов патогенеза когнитивного дефицита в сочетании с достижениями в области информационных технологий приводит на современном этапе к разработке и совершенствованию методов и техник, направленных на улучшение как когнитивных способностей, так и некогнитивных состояний, для повышения качества жизни пациентов и членов их семей. Когнитивно-стимулирующая деятельность как поведенческий подход может быть эффективной в профилактике и лечении когнитивных нарушений у пожилых людей, а также в улучшении качества жизни пациентов на разных стадиях болезни Альцгеймера. Упражнения по когнитивной реабилитации сегодня и в будущем можно проводить не только традиционным методом, но и в форме ККТ с использованием цифровых программ и интерактивных приложений, включающих различные когнитивные задания.

#### **Заключение**

Компьютеризированные подходы когнитивной реабилитации у здоровых пожилых людей и пациентов с клинически установленными когнитивными нарушениями представлены как «стохастическими» игровыми формами, так и научно-обоснованными структурированными программами.

Рандомизированные контролируемые исследования и метаанализы предоставили определенные доказательства того, что компьютеризированный когнитивный тренинг способствует улучшению когнитивной продуктивности и глобальных исполнительных функций. В настоящее время для контроля и оценки различных профилей эффективности ККТ-вмешательств используют игры, головоломки и когнитивно-стимулирующие упражнения в традиционном формате, однако накопленные данные свидетельствуют также о том, что различные программы тренировок имеют неоднородный эффект.

В связи со старением населения во всем мире существует большой интерес к мероприятиям и вмешательствам, которые позволяют отсрочить и предотвратить снижение когнитивных функций. Предполагается, что компьютеризированный когнитивный тренинг, как неинвазивный метод стимуляции функциональной активности мозга и нейропластических процессов, может быть перспективным подходом для улучшения глобальных когнитивных и исполнительных функций. Доступность метода и отсутствие необходимости в постоянном присутствии обученного и высокоспециализированного персонала являются очевидными преимуществами компьютеризированных когнитивных технологий как клинического инструмента. Однако для получения убедительных дополнительных доказательств, необходимых для экспертной рекомендации стереотипного использования компьютеризированного когнитивного тренинга в клинической медицине, и масштабной интеграции технологии в реальную практику требуется продолжение исследований со структурированным дизайном, включающим рациональные размеры выборки, длительную программу и достаточную продолжительность наблюдения, сконцентрированные на методологии и выборе подходящих показателей результативности, а также на оценке возможности обобщения и устойчивости любых эффектов.

*Конфликт интересов отсутствует.*

## Литература

1. Авдеева И.В., Губарев Ю.Д., Прощаев К.И. Коррекция когнитивных и двигательных нарушений в превентивной геронтологии // *Соврем. пробл. здравоохран. и мед. статистики*. 2019. № 2. С. 155–172.
2. Мякотных В.С., Сиденкова А.П., Остапчук Е.С. и др. Когнитивное старение и когнитивный резерв: точки соприкосновения // *Успехи геронтол.* 2020. Т. 33, № 2. С. 256–264. <https://doi.org/10.34922/AE.2020.33.2.006>.
3. Прокопенко С.В., Безденежных А.Ф., Можейко Е.Ю., Зубрицкая Е.М. Эффективность компьютерного когнитивного тренинга у пациентов с постинсультными когнитивными нарушениями // *Журн. неврол. и психиат. им. С.С. Корсакова*. 2017. № 8. Вып. 2. С. 32–36. <https://doi.org/10.17116/jnevro20171178232-36>.
4. Пятин В.Ф., Колсанов А.В., Широлапов И.В. Современные медицинские технологии восстановления поврежденных периферических нервных волокон: клинико-физиологические преимущества метода искусственных нервных туннелей // *Успехи геронтол.* 2016. Т. 29, № 5. С. 742–750.
5. Пятин В.Ф., Широлапов И.В. Нейромышечная стимуляция в условиях вибрационной физической нагрузки для профилактики остеопороза // *Вопр. курортол., физиотер. и ЛФК*. 2020. Т. 97, № 3. С. 87–93. <https://doi.org/10.17116/kurort20209703187>.
6. Пятин В.Ф., Широлапов И.В., Никитин О.Л. Реабилитационные возможности вибрационной физической нагрузки в геронтологии // *Успехи геронтол.* 2009. Т. 22, № 2. С. 337–342.
7. Широлапов И.В., Захаров А.В., Булгакова С.В. и др. Глимфатическая дисфункция в патогенезе нейродегенеративных заболеваний и патологического старения // *Гены и клетки*. 2023. Т. 18, № 4. С. 309–322. <https://doi.org/10.23868/gc546022>.
8. Широлапов И.В., Захаров А.В., Смирнова Д.А. и др. Роль глимфатического клиренса в механизмах взаимосвязи цикла сон-бодрствование и развития нейродегенеративных процессов // *Журн. неврол. и психиат. им. С.С. Корсакова*. 2023. Т. 123, № 9. С. 31–36. <https://doi.org/10.17116/jnevro202312309131>.
9. Широлапов И.В., Захаров И.В., Булгакова С.В. и др. Деменция альцгеймеровского типа как следствие нарушений в глимфатической системе мозга // *Психиат., психотер. и клин. психол.* 2023. Т. 14, № 3. С. 291–300. <https://doi.org/10.34883/Pl.2023.14.3.004>.
10. Широлапов И.В., Маслова О.А., Барашкина К.М. и др. Энтомофагия как альтернативный источник белка и новая пищевая стратегия // *Казанский мед. журн.* 2023. Т. 104, № 5. С. 733–740. <https://doi.org/10.17816/KMJ123526>.
11. Agarov S.N., Bulanov V.A., Zakharov A.V. et al. A comparison of classifiers in a task consisting of classifying single visual event-related cortical potentials in humans // *Neurosci. Behav. Physiol.* 2018. Vol. 48. P. 1140–1144. <https://doi.org/10.1007/s11055-018-0678-1>.
12. Alescio-Lautier B., Sambucchi N., Michel B.F., Chambon C. Multifactorial cognitive training can slow down the cognitive decline in early Alzheimer patients // *J. Alzheimer's Dis. Parkinson.* 2019. № 9. P. 1000470.
13. Anderson N.D., Craik F.I. 50 years of cognitive aging theory // *J. Geront.* 2017. Vol. 72. P. 1–6. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbw108>.
14. Bahar-Fuchs A., Martyr A., Goh A.M. et al. Cognitive training for people with mild to moderate dementia // *Cochrane Database Syst. Rev.* 2019. Vol. 3. P. 13069. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013069.pub2>.
15. Barban F., Mancini M., Cercignani M. et al. A pilot study on brain plasticity of functional connectivity modulated by cognitive training in mild Alzheimer's disease and mild cognitive impairment // *Brain Sci.* 2017. Vol. 7, № 5. P. 50. <https://doi.org/10.3390/brainsci7050050>.
16. Besnard A., Caboche J., Laroche S. Reconsolidation of memory: a decade of debate // *Prog. Neurobiol.* 2012. Vol. 99, № 1. P. 61–80. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2012.07.002>.
17. Cavallo M., Angilletta C. Long-Lasting neuropsychological effects of a computerized cognitive training in patients affected by early stage Alzheimer's disease: Are they stable over time? // *J. Appl. Geront.* 2019. Vol. 38, № 7. P. 1035–1044. <https://doi.org/10.1177/0733464817750276>.
18. Cavallo M., Hunter E.M., Van der Hiele K., Angilletta C. Computerized structured cognitive training in patients affected by

- early-stage Alzheimer's disease is feasible and effective: A randomized controlled study // *Arch. Clin. Neuropsychol.* 2016. Vol. 31, № 8. P. 868–876. <https://doi.org/10.1093/arclin/acw072>.
19. *Chan A.T.C., Ip R.T.F., Tran J.Y.S. et al.* Computerized cognitive training for memory functions in mild cognitive impairment or dementia: a systematic review and meta-analysis // *NPJ Digit. Med.* 2024. Vol. 7, № 1. P. 1. <https://doi.org/10.1038/s41746-023-00987-5>.
20. *Choi J., Twamley E.W.* Cognitive rehabilitation therapies for Alzheimer's disease: A review of methods to improve treatment engagement and self-efficacy // *Neuropsychol. Rev.* 2013. Vol. 23, № 1. P. 48–62. <https://doi.org/10.1007/s11065-013-9227-4>.
21. *Cohen C.I., Reisberg B., Yaffee R.* Global cognitive trajectory patterns in Alzheimer's disease // *Int. Psychogeriatr.* 2022. Vol. 25. P. 1–10. <https://doi.org/10.1017/S1041610222000047>.
22. *Del Tredici K., Braak H.* To stage, or not to stage // *Curr. Opin. Neurobiol.* 2020. Vol. 61. P. 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2019.11.008>.
23. *Diaz Baquero A.A., Perea Bartolomé M.V., Toribio-Guzmán J.M. et al.* Determinants of adherence to a «GRADIOR» computer-based cognitive training program in people with mild cognitive impairment (MCI) and mild dementia // *J. clin. Med.* 2022. Vol. 11. P. 1714. <https://doi.org/10.3390/jcm11061714>.
24. *Gates N.J., Vernooij R.W., Di Nisio M. et al.* Computerised cognitive training for preventing dementia in people with mild cognitive impairment // *Cochrane Database Syst. Rev.* 2019. Vol. 3. P. 12279. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012279.pub2>.
25. *Guarino A., Forte G., Giovannoli J., Casagrande M.* Executive functions in the elderly with mild cognitive impairment: A systematic review on motor and cognitive inhibition, conflict control and cognitive flexibility // *Aging Ment. Hlth.* 2020. Vol. 24, № 7. P. 1028–1045. <https://doi.org/10.1080/13607863.2019.1584785>.
26. *Hernaiz A., Toivonen J.M., Bolea R. et al.* Epigenetic changes in prion and prion-like neurodegenerative diseases: recent advances, potential as biomarkers and future perspectives // *Int. J. molec. Sci.* 2022. Vol. 23, № 20. P. 12609. <https://doi.org/10.3390/ijms232012609>.
27. *Hill N.T.M., Mowszowski L., Naismith S.L. et al.* Computerized cognitive training in older adults with mild cognitive impairment or dementia: A systematic review and meta-analysis // *Amer. J. Psychiatr.* 2017. Vol. 174, № 4. P. 329–340. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2016.16030360>.
28. *Hu M., Wu X., Shu X. et al.* Effects of computerized cognitive training on cognitive impairment: A meta-analysis // *J. Neurol.* 2021. Vol. 268, № 5. P. 1680–1688. <https://doi.org/10.1007/s00415-019-09522-7>.
29. *Huang R.* Alzheimer's Disease Diagnosis Based on the EEG Analysis // *Stud. Hlth Technol. Inform.* 2023. Vol. 308. P. 574–582. <https://doi.org/10.3233/SHTI230887>.
30. *Imbeault H., Langlois F., Bocti C. et al.* Can people with Alzheimer's disease improve their day-to-day functioning with a tablet computer? // *Neuropsychol. Rehab.* 2018. Vol. 28, № 5. P. 779–796. <https://doi.org/10.1080/09602011.2015.1133431>.
31. *Kirasirova L.A., Zakharov A.V., Morozova M.V. et al.* ERP correlates of emotional face processing in virtual reality // *Opera Med. Physiol.* 2021. Vol. 8, № 3. P. 12–19. <https://doi.org/10.24412/2500-2295-2021-3-12-19>.
32. *Kumar J., Patel T., Sugandh F. et al.* Innovative approaches and therapies to enhance neuroplasticity and promote recovery in patients with neurological disorders: A narrative review // *Cureus.* 2023. Vol. 15, № 7. P. 41914. <https://doi.org/10.7759/cureus.41914>.
33. *Lampit A., Gavelin H.M., Sabates J. et al.* Computerized cognitive training in cognitively healthy older adults: A systematic review and network meta-analysis // *MedRxiv.* 2020. <https://doi.org/10.1101/2020.10.07.20208306>.
34. *Lasaponara S., Marson F., Doricchi F., Cavallo M.* A scoping review of cognitive training in neurodegenerative diseases via computerized and virtual reality tools: What we know so far // *Brain Sci.* 2021. Vol. 11, № 5. P. 528. <https://doi.org/10.3390/brainsci11050528>.
35. *Leung N.T., Tam H.M., Chu L.W. et al.* Neural plastic effects of cognitive training on aging brain // *Neural. Plast.* 2015. Vol. 2015. P. 535618. <https://doi.org/10.1155/2015/535618>.
36. *Li R., Geng J., Yang R. et al.* Effectiveness of computerized cognitive training in delaying cognitive function decline in people with mild cognitive impairment: Systematic review and meta-analysis // *J. Med. Internet Res.* 2022. Vol. 24, № 10. P. 38624. <https://doi.org/10.2196/38624>.
37. *Liang J., Xu Y., Lin L. et al.* Comparison of multiple interventions for older adults with Alzheimer disease or mild cognitive impairment: A PRISMA-compliant network meta-analysis // *Medicine (Baltimore).* 2018. Vol. 97, № 20. P. 10744. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000010744>.
38. *Luijmes R.E., Pouwels S., Boonman J.* The effectiveness of neurofeedback on cognitive functioning in patients with Alzheimer's disease: Preliminary results // *Neurophysiol. Clin.* 2016. Vol. 46, № 3. P. 179–187. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2016.05.069>.
39. *Maggio M.G., De Bartolo D., Calabrò R.S. et al.* Computer-assisted cognitive rehabilitation in neurological patients: state-of-art and future perspectives // *Front. Neurol.* 2023. Vol. 14. P. 1255319. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1255319>.
40. *Manchanda N., Aggarwal A., Setya S., Talegaonkar S.* Digital Intervention for The Management of Alzheimer's Disease // *Curr. Alzheimer Res.* 2022. Vol. 19, № 14. P. 909–932. <https://doi.org/10.2174/1567205020666230206124155>.
41. *Mancini M., Cherubino P., Cartocci G. et al.* Forefront users' experience evaluation by employing together virtual reality and electroencephalography: A case study on cognitive effects of scents // *Brain Sci.* 2021. Vol. 11. P. 256. <https://doi.org/10.3390/brainsci11020256>.
42. *Marin A., DeCaro R., Schiloski K. et al.* Home-based electronic cognitive therapy in patients with Alzheimer disease: Feasibility randomized controlled trial // *JMIR Form. Res.* 2022. Vol. 6, № 9. P. 34450. <https://doi.org/10.2196/34450>.
43. *Motter J.N., Rushia S.N., Qian M. et al.* Expectancy does not predict 18-month treatment outcomes with cognitive training in mild cognitive impairment // *J. Prev. Alzheimers Dis.* 2024. Vol. 11, № 1. P. 71–78. <https://doi.org/10.14283/jpad.2023.62>.
44. *Nguyen L., Murphy K., Andrews G.* Cognitive and neural plasticity in old age: A systematic review of evidence from executive functions cognitive training // *Ageing Res. Rev.* 2019. Vol. 53. P. 100912. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2019.100912>.
45. *Park J.S., Jung Y.J., Lee G.* Virtual reality-based cognitive-motor rehabilitation in older adults with mild cognitive impairment: A randomized controlled study on motivation and cognitive function // *Healthcare (Basel).* 2020. Vol. 8, № 3. P. 335. <https://doi.org/10.3390/healthcare8030335>.
46. *Petrella J.R., Michael A.M., Qian M. et al.* Impact of computerized cognitive training on default mode network connectivity in subjects at risk for Alzheimer's disease: A 78-week randomized controlled trial // *J. Alzheimers Dis.* 2023. Vol. 91, № 1. P. 483–494. <https://doi.org/10.3233/JAD-220946>.
47. *Pyatin V.F., Kolsanov A.V., Shirolapov I.V.* Recent medical techniques for peripheral nerve repair: Clinic-physiological advantages of artificial nerve guidance conduits // *Adv. Geront.* 2017. Vol. 7, № 2. P. 148–154. <https://doi.org/10.1134/S2079057017020126>.
48. *Robledo-Castro C., Castillo-Ossa L.F., Corchado J.M.* Artificial cognitive systems applied in executive function stimulation and rehabilitation programs: A systematic review // *Arab. J. Sci. Eng.* 2023. Vol. 48, № 2. P. 2399–2427. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-07292-5>.
49. *Rodríguez-Mora Á., Córdón J.R., De la Torre G.G., Mestre J.M.* The impact of a twelve-month comprehensive program of cognitive training for Alzheimer patients: A pilot study // *Psychiat. Int.* 2020. Vol. 1, № 2. P. 83–97. <https://doi.org/10.3390/psychiatryint1020010>.
50. *Savulich G., Piercy T., Fox C. et al.* Cognitive training using a novel memory game on an iPad in patients with amnesic

mild cognitive impairment (aMCI) // *Int. J. Neuropsychopharmacol.* 2017. Vol. 20, № 8. P. 624–633. <https://doi.org/10.1093/ijnp/pyx040>.

51. *Shirolapov I., Zakharov A., Gochhait S. et al.* Aquaporin-4 as the main element of the glymphatic system for clearance of abnormal proteins and prevention of neurodegeneration: A review // *WSEAS Transact. Biol. Biomed.* 2023. Vol. 20. P. 110–118. <https://doi.org/10.37394/23208.2023.20.11>.

52. *Shirolapov I.V., Zakharov A., Smirnova D. et al.* Aging brain, dementia and impaired glymphatic pathway: Causal relationships // *Psychiat. Danubina.* 2023. Vol. 35. Suppl. 2. P. 236–244.

53. *Shirolapov I.V., Zakharov A.V., Smirnova D.A. et al.* The role of the glymphatic clearance system in the mechanisms of the interactions of the sleep–waking cycle and the development of neurodegenerative processes // *Neurosci. Behav. Physiol.* 2024. Vol. 54, № 2. P. 199–204. <https://doi.org/10.1007/s11055-024-01585-y>.

54. *Tarutani A., Adachi T., Akatsu H. et al.* Ultrastructural and biochemical classification of pathogenic tau,  $\alpha$ -synuclein and TDP-43 // *Acta Neuropathol.* 2022. Vol. 143, № 6. P. 613–640. <https://doi.org/10.1007/s00401-022-02426-3>.

55. *Vilou I., Varka A., Parisis D. et al.* EEG-Neurofeedback as a potential therapeutic approach for cognitive deficits in patients with dementia, multiple sclerosis, stroke and traumatic brain injury // *Life (Basel).* 2023. Vol. 13, № 2. P. 365. <https://doi.org/10.3390/life13020365>.

56. *Wu J., He Y., Liang S. et al.* Effects of computerized cognitive training on structure-function coupling and topology of multiple brain networks in people with mild cognitive impairment: a randomized controlled trial // *Alzheimers Res. Ther.* 2023. Vol. 15, № 1. P. 158. <https://doi.org/10.1186/s13195-023-01292-9>.

57. *Zakharov A.V., Khivintseva E.V., Pyatin V.F. et al.* Melatonin — known and novel areas of clinical application // *Neurosci. Behav. Phys.* 2019. Vol. 49. P. 60–63. <https://doi.org/10.1007/s11055-018-0692-3>.

58. *Zhang H., Huntley J., Bhome R. et al.* Effect of computerized cognitive training on cognitive outcomes in mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis // *Brit. med. J. Open.* 2019. Vol. 9, № 8. P. 027062. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-027062>.

Поступила в редакцию 13.05.2024

После доработки 13.05.2024

Принята к публикации 23.05.2024

Adv. geront. 2024. Vol. 37, № 3. P. 221–229

*I.V. Shirolapov, A.V. Zakharov, A.A. Shishkina, M.S. Sergeeva, Yu.S. Komarova,  
N.P. Romanchuk, V.M. Bannov, O.G. Kuznetsova, E.V. Khivintseva*

#### EFFICIENCY OF COMPUTERIZED COGNITIVE TRAINING FOR PREVENTION OF COGNITIVE IMPAIRMENTS AND STIMULATION OF NEUROPLASTICITY

Samara State Medical University, 89 Chapaevskaya str., Samara 443099, e-mail: [ishirolapov@mail.ru](mailto:ishirolapov@mail.ru)

Computerized cognitive training (CCT) is a rapidly developing area of cognitive rehabilitation at the intersection of information technology and healthcare, the constantly updated results of which can be successfully translated into practical application in clinical medicine and in particular in gerontology. The basis of CCT, as a non-invasive method of influencing the functional activity of the brain and the processes of neuroplasticity, is software for stimulating cognitive functions in order to improve their productivity. The level of scientific and practical interest in CCP technology is growing rapidly. The article reports on the current state of research on the use of CCT aimed at correcting cognitive impairment. The purpose of this work is to systematize the available scientific data in this area, as well as to promote further integration of research in the field of information technology into clinical practice, in particular, to study the potential of CCT as a promising therapeutic tool in the paradigm of successful aging and prevention of the progression of cognitive impairment. This noninvasive intervention may improve global cognitive function in patients with clinically defined impairments and during normal aging in cognitively healthy older adults. However, new studies with fully comparable protocols are needed to evaluate in more detail the duration of the effect and the effectiveness of CCT in preventing cognitive decline in the long term.

**Key words:** *computerized cognitive training, successful aging, cognitive rehabilitation, virtual reality training, cognitive-stimulating activity, Alzheimer's disease, dementia, mild cognitive impairment, cognitive deficit*