

Интерактивная цифровая платформа и киберфизические системы медицинского образования

С.Д. Арутюнов¹, А.А. Южаков², Я.Н. Харах¹, И.И. Безукладников²,
Н.Б. Асташина³, А.А. Байдаров³

¹Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова, Москва, Российская Федерация

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Российская Федерация

³Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера, Пермь, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Успех и прогресс медицинского образования неотъемлемо связан с достижениями фундаментальных и прикладных наук и зависит от степени насыщения образовательных программ результативностью передовых цифровых технологий. В статье рассматриваются новые формы организации образовательного процесса на основе цифровых платформ. Благодаря информационно-коммуникационным технологиям (платформам) становится возможной эффективная дистанционная координация траектории образовательного процесса больших массивов обучающихся, строгий объективный протокольный контроль за выполнением поставленных задач. В статье рассматриваются специфика медицинских цифровых платформ, формы алгоритмического управления, необходимость и значимость киберфизических систем. Приводятся примеры реализаций отдельных робототехнических элементов, применяемых в образовательных платформах.

Материалы и методы. Критериями отбора источников литературы являлись: дата публикации позже 2000 года; релевантность ключевым запросам Education, Medical Education и Patient Simulation; публикации, включенные в базу данных ScienceDirect (Scopus), IEEE или NCBI.

Результаты. В соответствии с критериями включения и невключения было отобрано 27 научных публикаций.

Заключение. Цифровая образовательная платформа, формируемая совокупностью трансформированных традиционных образовательных программ, позволяет обеспечить полноценный допуск обучающихся к образовательным ресурсам, а также обладает потенциалом стимулирования компетенций профессорско-преподавательского контингента, что в целом является актуальным и перспективным направлением для повышения эффективности образовательного процесса.

Ключевые слова: цифровое обучение, компьютерный адаптивный контроль знаний, дистанционное образование, медицинское образование, профессиональное образование, высокоточное симуляционное обучение, симуляция пациента.

Для цитирования: Арутюнов СД, Южаков АА, Харах ЯН, Безукладников ИИ, Асташина НБ, Байдаров АА. Интерактивная цифровая платформа и киберфизические системы медицинского образования. *Пародонтология*. 2022;27(4):318-326. <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2022-27-4-318-326>.

Interactive digital platform and cyber-physical systems in medical education

S.D. Arutyunov¹, A.A. Yuzhakov², Y.N. Kharakh¹, I.I. Bezukladnikov²,
N.B. Astashina³, A.A. Baidarov³

¹A. I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation

²Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

³Perm State Medical University named after Academician E. A. Wagner, Perm, Russian Federation

ABSTRACT

Relevance. The success and progress of medical education are inherently linked to the achievements of fundamental and applied sciences and depend on the degree of curriculum fulfilment with advanced digital technology effectiveness. The article considers new forms of learning organization based on digital platforms. Information and communication technologies (platforms) allow effective distant coordination of the academic paths for large numbers of students and strict unbiased control over the implementation of assigned tasks. The article considers the specific features of medical digital platforms, algorithmic management forms, necessity and importance of cyber-physical systems, and gives examples of single robotic element implementation used in learning platforms.

Materials and Methods. The publication selection criteria were: papers published after 2000; relevance to the keywords "Education", "Medical Education", and "Patient Simulation"; publications included in the databases "ScienceDirect" (Scopus), "IEEE", or "NCBI".

Results. Twenty-seven scientific publications were selected by the inclusion and exclusion criteria.

Conclusion. The online learning platform formed by a set of transformed traditional curricula allows for a full access of students to learning resources and can stimulate the teaching staff competencies, which is, in general, a relevant and promising direction for improving the effectiveness of the learning process.

Key words: Digital learning; computer adaptive testing; distant learning; medical education; professional education; high-fidelity simulation training; patient simulation; simulation training.

For citation: Arutyunov SD, Yuzhakov AA, Kharakh YN, Bezukladnikov II, Astashina NB, Baidarov AA. Interactive digital platform and cyber-physical systems in medical education. *Parodontologiya*. 2022;27(4):318-326 (in Russ.). <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2022-27-4-318-326>.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из первых реализаций цифровой образовательной платформы (ЦОП) можно считать «Автоматическое обучающее устройство», предложенное в 1961 году D.L. Bitzer et al. Оно представляло из себя монитор и клавиатуру для интерактивного обучения и проверки усвоения материала до и после занятия, при этом программный алгоритм компьютера на основании успешности усвоения материала студентом принимал решение о необходимости дополнительного обучения [1]. Описанный алгоритм, учитывающий результаты обучающегося, то есть обладающий индивидуальным (адаптивным) подходом, несмотря на простоту показал свою эффективность [2]. Цифровизация обучающего процесса развивалась вместе с научно-техническим прогрессом и сетью интернет по разным направлениям – от теоретических математических моделей алгоритмов с машинным обучением [3] до виртуальных и технических решений [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск данных литературы осуществляли в электронной научной базе данных «Google Академия». Критерием отбора являлось релевантность публикаций поисковым запросам, представляющим ключевые слова Education, Medical Education и Patient Simulation, а также дата публикации позже 2000 года.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В соответствии с критериями включения и исключения было отобрано 27 научных публикаций, из которых 22 публикации депонированы в базе данных ScienceDirect (Scopus); 2 – в IEEE; 2 – в NCBI. Освещение и интерпретация отобранных литературных данных осуществлено в разделе «Обсуждение».

ОБСУЖДЕНИЕ

Современная реализация цифрового образования

Прежде всего следует обозначить такое явление как «цифровая образовательная среда», которое включает в себя любые программные средства, используемые с целью обучения. Такими средствами могут выступать программы для организации видеоконференций, онлайн-сервисы тестовых заданий, даже коммуникация между участниками учебного процесса посредством электронных писем и т. д. Подобные инструменты позволяют организовать учебное взаимодействие на элементарном уровне, развитие и дополнение которых приводит к формированию более сложного уровня – многофункциональных цифровых образовательных платформ [5].

На сегодняшний день существует множество платформ, из которых наиболее распространены решения, основанные на веб-интерфейсе, что связано с экономической доступностью их организации, минимальными требованиями к уровню компьютерной грамотности конечного пользователя, а также технически неограниченной возможностью доступа к ним (в любом месте, с любого устройства). Вне зависимости от разработчика платформы общим знаменателем для каждой из них являются базовые функции: доступ к учебным и контрольно-измерительным материалам, а также встроенная система менеджмента [6].

Исторически концепция многопользовательских обучающих систем одновременно развивается в нескольких направлениях, характеризующихся степенью и глубиной вовлечения участников в образовательный процесс, а также числом вовлеченных преподавателей и студентов (рис. 1).

В период с 2008 по 2010 год основными присутствовавшими на рынке образовательными платформами поддерживался базовый неинтерактивный

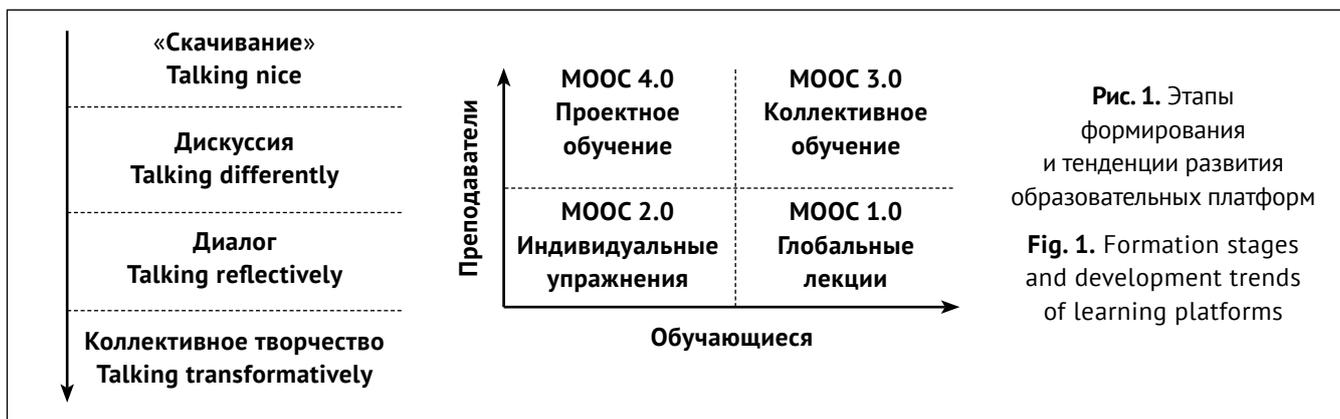


Рис. 1. Этапы формирования и тенденции развития образовательных платформ
Fig. 1. Formation stages and development trends of learning platforms

функционал, включающий в себя лекции профессоров для множества студентов, концепция MOOC 1.0, One-to-many (преподаватель говорит, все слушают), а также MOOC 2.0 – One-to-One (включающая индивидуальное проведение занятий в режиме «один на один»). С 2011 года по настоящее время параллельно развиваются концепции MOOC 3.0 Many-to-many – распределенное (Peer-to-Peer, p2p) обучение, подразумевающее увеличенную роль взаимной оценки преподавателя и студента, рефлексии и саморефлексии по итогам занятий, взгляд на проблему глазами окружающих, и MOOC 4.0 Many-to-One – совместная работа над прохождением курсов, коллективное творчество, образование как работа консорциума. Появление и развитие каждой из платформ привнесло свой вклад в общую концепцию цифрового образования, за счет приоритетного развития тех или иных специфических функций.

К сожалению, несмотря на большое разнообразие ЦОП, универсального решения нет, что усложняет выбор оптимальной платформы для реализации растущих потребностей современных образовательных учреждений, заключающихся в персонализации траекторий обучения, а также в повышении качества за счет интеграции инновационных технологий (дополненная или виртуальная реальность, антропоморфные роботы и т. д.) [7].

Перспективы цифровых образовательных платформ

Переход ЦОП на следующий, более сложный, уровень (MOOC 4.0) возможен за счет дополнительной интеграции передовых технологий. Технологии, подобные искусственному интеллекту, позволяют в значительной степени увеличить точность адаптации (индивидуализации) учебных траекторий [8], а использование кибернетических гаджетов и оборудования, например обеспечивающих дополненную реальность, переводит восприятие материала на качественно новый уровень, что значительно увеличивает эффективность обучающего процесса [9, 10]. Иными словами, повышение эффективности ЦОП заключается в дополнении когнитивного обучения аффективным, с условием обеспечения их взаимосвязи.

Интерес исследователей к интеграции искусственного интеллекта в цифровую образовательную

среду возрастает с каждым годом, при этом к наиболее перспективным направлениям относят развитие алгоритмов персонализации (адаптирования) учебного процесса и оценивания [11].

Однако искусственный интеллект является достаточно объемным понятием, ввиду чего область его применения не ограничивается описанными выше алгоритмами. Так, Wartman et al. описали понятие «искусственный интеллект» как способность компьютеров и машин имитировать человеческие когнитивные функции или действия [12], что несколько расширяет данную область и позволяет применять ее не только по отношению к виртуальным алгоритмам, но в частности и к робототехнике. Применение роботов в образовательном процессе не является новшеством, а их использование, согласно данным литературы, позволяет повысить эффективность обучения, в частности за счет превалирования аффективного восприятия обучающимися при взаимодействии с ними [13, 14]. Немаловажным аспектом является внешний вид робота и степень его «человечности». Согласно данным исследования К. Tanaka et al., наличие у робота невербальных средств общения оказывает эффект социального присутствия у испытуемых, что делает более предпочтительным воплощение роботов в гуманоидной форме [15]. С. Dio et al. в своем сравнительном исследовании восприятия людьми различных форм роботов установили, что роботы антропоморфной формы предрасполагают испытуемых к более человеческому отношению, а также повышает их доверие [16], что особенно важно для их применения в структурах здравоохранения и медицинского образования [17, 18].

Анализ успехов технической интеграции прослеживается при рассмотрении подготовки специалистов по направлению «стоматология» как наиболее оснащенной сферы образования, что сложилось исторически. Необходимость подготовки специалистов с высоким уровнем не только теоретических знаний, но и практических навыков привела к формированию симуляционного обучения, позволяющего имитировать различные клинические ситуации, диагностический и лечебный процесс [19, 20]. Изначально техническое оснащение для симуляционного обучения представляло из себя специальные модели, имитирующие органы человека в натуральную величину

ну – фантомы. Первый стоматологический фантом был предложен в 1894 году и имитировал две челюсти с удаленными естественными зубами [21].

Дальнейшая эволюция стоматологических фантомов заключалась в дополнительном оснащении как самого фантома, так и рабочего места, увеличивая степень сходства с реальными пациентами и клиническими условиями. Успех симуляционного обучения вместе с техническим прогрессом привел к формированию нового эволюционного витка – симуляционных компьютерных комплексов, главной отличительной чертой которых являлось наличие обратной связи, что повысило эффективность обучения [22, 23].

Однако функциональные возможности подобных комплексов не позволяют проводить все клинико-диагностические мероприятия, например оценку окклюзионных взаимоотношений зубов и зубных рядов, из-за технических и конструкционных ограничений. Также существующие роботы представляют собой автономные системы, не сообщающиеся с какой-либо базой данных, содержащие индивидуальные характеристики и уровень знаний обучающегося с целью адаптации учебного процесса. Подобная организация моста между роботом и обучающимся есть формирование связи между когнитивным и аффективным обучением [24].

Другой технологией, уже зарекомендовавшей себя как эффективный инструмент обучения, в особенности медицинским и стоматологическим дисциплинам, является виртуальная реальность [25–27]. Что касается таких подвидов виртуальной реальности, как дополненная и смешанная, то результаты научных исследований также свидетельствуют о большей эффективности обучения с их использованием, в сравнении с традиционным методом [28, 29].

Тенденция формирования моста между системой виртуальной реальности и искусственным интеллектом также является перспективной, однако сегодня подобные решения находятся на этапе разработки [30].

С технической точки зрения реализация представленных перспективных инструментов тесно сопряжена с наличием базы данных, содержащей информацию не только об учебных материалах, но и о пользователях. В сравнении с предыдущим уровнем ЦОП информация о пользователях при организации мостов между гаджетами и сервером, с искусственным интеллектом возрастает многократно, что формирует массив данных (большие данные, англ. big data), отличающийся большим разнообразием, сложностью структурирования, хранения и обработки данных [31]. В связи с чем особое внимание должно быть уделено выбору архитектуры системы базы данных.

Немаловажным моментом является способ хранения данных, который зачастую представляет из себя централизованную систему – хранение данных в одном месте. С позиции массивных данных централизация позволяет уменьшить требуемые мощности, исключив необходимость передачи данных между

серверами. Другим вариантом является децентрализованная система, представляющая из себя множество серверов, не локализованных в одном месте физически, при этом все сервера дублируют друг друга. Такая модель в значительной степени повышает отказоустойчивость системы, так как в случае выхода из строя одного звена всегда есть резервное звено с копией данных. Также децентрализация обеспечивает надежность хранимых данных: при возникновении на одном из каких-либо локальных серверов отличных данных система проверяет причину разногласия, и, в случае отсутствия оснований, не осуществляет запись изменений в остальных базах данных.

Собственная траектория развития

В рамках описанной концепции перспективной организации ЦОП нами в 2021 году был создан межуниверситетский консорциум, в который на данный момент входят три университета: МГМСУ им. А. И. Евдокимова, ПНИПУ, ПГМУ имени Е. А. Вагнера. Вместе с развитием консорциума планируется разработка ЦОП, в соответствии с нашими представлениями о перспективных технологиях, а также включающих такие базовые функции, как:

– **Отложенный просмотр (time shift)**: все интерактивные материалы курсов предлагается дополнить функцией time machine / time shift – студент имеет возможность при присоединении в любое время отмотать информацию об изучаемом материале назад и просмотреть его в записи, после чего перемотать на live-трансляцию и участвовать в обсуждении материала.

– **Персональное ассистирование и обучение преподавателей**: для любых материалов курса должна быть доступна функция платного ассистирования – интерактивной помощи преподавателя в изучении материала в онлайн-режиме (видеоконференция, текстовое общение и т. д.). Наличие подобного функционала позволяет выстроить иерархию ассистентов для интерактивной помощи (например, ведущий профессор – автор курса) → профессора локальных вузов → ассистенты → продвинутые студенты; позволяет устранить проблему «нелегального репетиторства». В ходе работы системы по итогам анализа статистики ассистент может быть повышен в классе. Даже преподаватель локального вуза, обладающий большой популярностью, может стать основным лектором дисциплины.

– **Автоматизация и использование искусственного интеллекта в процессе интерактивных сессий** для фокусирования видеокamеры на активности или лектора в кадре, оценки степени вовлеченности аудитории в учебный процесс, определения фактов списывания и использования студентом внешних материалов, распознавания личности студента по видеопотоку и т. д.

– **Использование элементов искусственного интеллекта** для автоматизированного создания кон-



спектов лекций и иных методических материалов с привязкой к исходному видеопотоку. На основе анализа ключевых слов (ссылка, рисунок, «на доске изображено» и т. д.) возможна автоматическая интеграция в создаваемый конспект рисунков, гиперссылки и других элементов. Все распознанные элементы могут быть привязаны к соответствующим моментам времени исходного видеопотока. Это позволит студенту параллельно использовать как видеoinформацию, так и ее текстовое представление. Улучшение качества распознавания, а также редактирование текста возможно при помощи обучающихся и преподавателей с применением механизмов геймификации (баллы за коррекцию лекционного материала), механизмов, аналогичных ReCAPTCHA (доступ к курсу после распознавания небольшого фрагмента материала).

– **Цифровизация обучения в режиме Peer-to-Peer:** все участники образовательного процесса равны друг перед другом, каждый из них выполняет одновременно роль как преподавателя, так и студента.

– **Одновременное использование Peer-to-Peer и классических методов образования:** гибридная форма образования с учетом их сильных и слабых сторон в рамках онлайн-обучения. Информация, относящаяся к области «массовых знаний», в том числе неспециализированные разделы общих дисциплин, элементы курсов, связанные с историческими сведениями, обзорами технологий и т. д., могут изучаться студентами в режиме р2р, без привлечения либо с минимальным привлечением преподавателей. Специальные дисциплины, дисциплины требующие взаимодействия с оборудованием, а также специализированные разделы общих дисциплин изучаются в интерактивном режиме при активном участии преподавателя.

– **Обеспечение доступа к ЦОП с любых устройств:** учитывая развитие беспроводных технологий широкополосного доступа в интернет (4G, 5G, 6G) предлагается для упрощения доступа студентов к образовательным ресурсам вуза использовать специальные SIM-карты с ограниченным доступом (только до образовательных ресурсов вуза), но с бесплатным роумингом на территории РФ и/или мира (аналог Amazon Kindle). Это позволяет выполнить привязку студентов к образовательному учреждению, обеспечить упрощение платежей в процессе обучения (с единого счета) и затруднение использования внешних ресурсов с «образовательного» устройства в процессе экзаменов.

– **Обучение в виртуальной или дополненной реальности:** в соответствии с концепцией виртуальной аудитории, где присутствие слушателей и/или преподавателя виртуально, то есть осуществляется взаимодействие через аватаров.

В рамках деятельности консорциума нами были предприняты шаги по разработке стоматологического антропоморфного робота (рис. 2) как универ-

сального и неавтономного инструмента цифровой образовательной среды [4].

Разработка подобного высококачественного киберфизического инструмента – крайне ресурсоемкий процесс, который требует вовлечения большого числа специалистов разных специальностей, в связи с чем для реализации проекта были привлечены как специалисты всех вузов – участники консорциума, так и ряда технологических компаний.

Разрабатываемый стоматологический робот выполнен на базе специализированной версии максимально человекоподобного робота Promobot RoboC [32], с интегрированной в его конструкцию смарт-челюстью, содержащей целый ряд датчиков, позволяющих обеспечить отслеживание врачебных манипуляций, проводимых студентами или преподавателями, реализовать функционал контроля за правильностью их выполнения. Применение развитой роботизированной платформы в качестве ядра такой системы позволяет значительно увеличить иммерсивность образовательного процесса за счет реализации целого ряда сценариев взаимодействия с пользователем, как реализующих типовые стоматологические кейсы от диагностических до лечебных, так и позволяющих осуществлять эмуляцию нестандартных ситуаций, требующих реакции обучаемых в реальном времени. В ближайшее время предполагается проведение дальнейших разработок, направленных на интеграцию в разработанную систему элементов AR/VR-технологий, а также создание соответствующих «цифровых двойников», синхронизированных с реальным оборудованием.

Помимо представленного выше кейса стоматологического робота, подобные робототехнические платформы в современном цифровом образовании могут быть применены, наряду с интегрированными в них элементами ИИ, для решения целого ряда иных задач ЦОП. В настоящее время при некоторых зарубежных университетах уже созданы отдельные институты искусственного интеллекта. Например, такой институт функционирует в Высшей школе Равенсбург-Вайнгартен. Сейчас ученые под руковод-



Рис. 2. Антропоморфный стоматологический робот
Fig. 2. Humanoid robot for dental training

ством профессора Вольфганга Эртеля (Wolfgang Ertel) ведут сразу шесть разработок на основе ИИ [33]. Один из проектов под названием Ertrag – роботизированный тренажер для медицинского персонала. Медсестрам важно еще во время обучения освоить движения, которые снизят для них риск надорвать спину во время перекладывания и транспортировки больных. Планируется, что тренировки будет проводить машина. Расширяется применение роботизированных платформ в медицинских учреждениях для обследования больных, постоянного мониторинга их состояния и т. д. Примером такой роботизированной платформы может считаться специализированная версия робота Promobot V4 [34], содержащая в себе набор из целого ряда дополнительного медицинского и диагностического оборудования (рис. 3).

В рамках современного обучения студент должен получать расширенное представление о применении подобных роботизированных систем в медицине, а также обучаться наиболее эффективному взаимодействию с ними.

Современная медицина видит в VR/AR/360-градусном видео огромный потенциал. Эти сквозные технологии могут решать задачи, связанные с корпоративным обучением, безопасностью, маркетингом, внешней и внутренней коммуникацией и даже с лечением и реабилитацией.

Виртуальная реальность погружает обучающего в цифровую среду знаний, концентрирует ее внимание на обучении и проходит тернистый путь познания методом проб и ошибок, через ориентированные на практику самостоятельные и групповые занятия. Цифровые технологии позволяют осваивать практику параллельно с теорией, что способствует лучшему по-

ниманию и запоминания и формирует высокий уровень приобретаемых компетенций.

Разнообразие фантомов и сложных медицинских тренажеров гибридного функционала сочетает реальное медицинское оборудование и цифровых двойников пациентов и/или имитирует органы, что обеспечивает высокий уровень обратной связи и вовлеченность обучаемого в познавательный процесс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, цифровая образовательная платформа, которая является совокупностью трансформированных традиционных образовательных программ, позволяет обеспечить полноценный допуск обучающихся к образовательным ресурсам, а также потребует повышения компетенций профессорско-преподавательского контингента, необходимых для реализации поставленных педагогических целей. В частности, массовизация дистанционного и онлайн-образования, обусловленная пандемическими вызовами и ограничениями, стимулировала серьезные изменения в работе, обусловленные новыми требованиями к квалификации профессорско-преподавательского сообщества в условиях новых профессиональных стандартов. Вышеизложенные тенденции связаны с необходимостью адаптации системы образования к грядущим социально-экономическим и технологическим преобразованиям в России и мире.

Цифровые технологии активно изменяют систему образования в РФ. Независимо от наших желаний наступает эра глобальной цифровизации образования во всем мире. Возможность кодирования простыми цифрами 0 и 1 всей совокупности достиже-



Рис. 3. Антропоморфный стоматологический робот
Fig. 3. Humanoid robot for dental training

ний мировой науки потрясает воображение, так как открываются невиданные возможности познания закономерностей возникновения, существования и развития окружающего нас мира.

Система образования является рупором научных исследований и открытий, а посему порождает необходимость в трансформации образовательных программ. В связи с этим наиболее логичным шагом является соединение образовательных программ с цифровой платформой, а также преобразование наполнения содержания программ и концепции в соответствии с реалиями сегодняшнего дня и перспективой будущего. Учитывая возможности и современные тенденции искусственного интеллекта, можно с уверенностью сказать о новых горизонтах эффективного глобального образования. ЦОП предоставляет возможность пользования информацией, свободного генерирования, передачи и стремительного ее распространения по всему пространству интернета. Информация в мгновенной и практически постоянной доступности, при наличии средств работы в интер-

нете меняет характер приобретения знаний и компетенций, формируя приоритет визуализации (запоминание образов) над абстрактно-логическим запоминанием. Платформа дает возможности управлять ресурсами интернет-пространства и, при правильном ее программировании, научить обучаемого избегать потери ориентации в пространстве и времени в процессе обучения и интернет-зависимости, эффективнее обобщать информацию, структурировать в соответствии с целями и задачами, имеющимися знаниями, наращивать последние и с успехом применять в реальной профессиональной деятельности, в том числе в стоматологической практике.

Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке Пермского научно-образовательного центра «Рациональное недропользование», 2022 г.

Funding source. The work was carried out with financial support by Perm scientific and educational center “Rational subsoil use”, 2022.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Bitzer DL, Braunfeld PG, Lichtenberger WW. PLATO: An automatic teaching device. *IRE Transactions on Education*. 1961;4(4):157–161.
doi: 10.1109/TE.1961.4322215
2. Bitzer DL, Hicks BL, Johnson RL, Lyman ER. The Plato System: Current Research and Developments. *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*. 1967;HFE-8(2):64–70.
doi: 10.1109/thfe.1967.233313
3. Tsutsumi E, Kinoshita R, Ueno M. Deep Item Response Theory as a Novel Test Theory Based on Deep Learning. *Electronics*. 2021;10(9):1020.
doi: 10.3390/electronics10091020
4. Янушевич ОО, Ташкинов АА, Минаев НВ, Арутюнов СД, Асташина НБ, Байдаров АА, и др. Стоматологический антропоморфный робот. Новая эра в имитации врачебных манипуляций и клинического приема. CATHEDRA – КАФЕДРА. *Стоматологическое образование*. 2021;78:64–67. Режим доступа:
http://cathedra-mag.ru/wp-content/uploads/2022/04/Cathedra_78.pdf
- Yanushevich OO, Tashkinov AA, Minaev NV, Arutyunov SD, Astashina NB, Baidarov AA, et al. Dental anthropomorphic robot. A new era in imitation of medical manipulation and clinical admission. 2021;78:64–67. Available from:
http://cathedra-mag.ru/wp-content/uploads/2022/04/Cathedra_78.pdf. (In Russ.).
5. Colace F, De Santo M, Vento M. Evaluating on-line learning platforms: a case study. 2003 (36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences) [cited 2022 Sep 28].
doi: 10.1109/HICSS.2003.1174342
6. Malikowski SR, Thompson ME, Theis JG. A model for research into course management systems: Bridging technology and learning theory. *Journal of Educational Computing Research*. 2007;36(2):149–173.
doi: 10.2190/1002-1T50-27G2-H3V7
7. Colace F, De Santo M, Pietrosanto A. Evaluation models for e-learning platform: an AHP approach. Proceedings. Frontiers in Education. 2006 (36th Annual Conference) [cited 2022 Sep 28].
doi: 10.1109/FIE.2006.322312
8. Cader A. The Potential for the Use of Deep Neural Networks in e-Learning Student Evaluation with New Data Augmentation Method. *AIED 2020: Artificial Intelligence in Education*. 2020:37–42.
doi: 10.1007/978-3-030-52240-7_7
9. Hussain Z, Ng DM, Alnafisee N, Sheikh Z, Ng N, Khan A, et al. Effectiveness of virtual and augmented reality for improving knowledge and skills in medical students: protocol for a systematic review. *BMJ Open*. 2021;11(8):e047004.
doi: 10.1136/bmjopen-2020-047004
10. Mansoor MS, Khazaei MR, Azizi SM, Niromand E. Comparison of the effectiveness of lecture instruction and virtual reality-based serious gaming instruction on the medical students' learning outcome about approach to coma. *BMC medical education*. 2021;21(1):347.
doi: 10.1186/s12909-021-02771-z
11. Chassignol M, Khoroshavin A, Klimova A, Bilyatdinova, A. Artificial Intelligence trends in education: a narrative overview. *Procedia Computer Science*. 2018;136:16–24.
doi: 10.1016/j.procs.2018.08.233
12. Wartman SA, Combs CD. Medical Education Must Move From the Information Age to the Age of Artificial Intelligence. *Academic medicine: journal of the Association*

- of American Medical Colleges. 2018;93(8):1107–1109.
doi: 10.1097/ACM.0000000000002044
13. Belpaeme T, Kennedy J, Ramachandran A, Scasselati B, Tanaka F. Social robots for education: A review. *Science robotics*. 2018;3(21):eaat5954.
doi: 10.1126/scirobotics.aat5954
14. Özkan SB, Toz M. A review study on the investigation of the effects of using robots in education on metacognitive behaviors. *Computer Applications in Engineering Education*. 2022;30(4):1277-1288.
doi: 10.1002/cae.22508
15. Tanaka K, Nakanishi H, Ishiguro H. Physical embodiment can produce robot operator's pseudo presence. *Frontiers in ICT*. 2015;2:8.
doi: 10.3389/fict.2015.00008
16. Di Dio C, Manzi F, Peretti G, Cangelosi A, Harris PL, Massaro D, et al. Shall I Trust You? From Child-Robot Interaction to Trusting Relationships. *Frontiers in psychology*. 2020;11:469.
doi: 10.3389/fpsyg.2020.00469
17. Cominelli L, Feri F, Garofalo R, Giannetti C, Meléndez-Jiménez MA, Greco A, et al. Promises and trust in human-robot interaction. *Scientific reports*. 2021;11(1):9687.
doi: 10.1038/s41598-021-88622-9
18. Nyholm L, Santamäki-Fischer R, Fagerström L. Users' ambivalent sense of security with humanoid robots in healthcare. *Informatics for Health and Social Care*. 2021;46(2):218-226.
doi: 10.1080/17538157.2021.1883027
19. Maran NJ, Glavin RJ. Low-to high-fidelity simulation—a continuum of medical education? *Medical education*. 2003;37:22–28.
doi: 10.1046/j.1365-2923.37.s1.9.x
20. Gaba DM. The future vision of simulation in health care. *BMJ Quality & safety in health care*. 2004;13(1):2-10.
doi: 10.1136/qhc.13.suppl_1.i2
21. Bairsto R. Phantom head. *British Dental Journal*. 2021;231(3):152.
doi: 10.1038/s41415-021-3346-8
22. Buchanan JA. Use of simulation technology in dental education. *Journal of dental education*. 2001;65(11):1225-1231.
PMID: 11765868
23. Wierinck E, Puttemans V, Swinnen S, van Steenberghe D. Effect of augmented visual feedback from a virtual reality simulation system on manual dexterity training. *European Journal of Dental Education*. 2005;9(1):10-16.
doi: 10.1111/j.1600-0579.2004.00351.x
24. Yang J, Zhang B. Artificial Intelligence in Intelligent Tutoring Robots: A Systematic Review and Design Guidelines. *Applied Sciences*. 2019;9(10):2078.
doi: 10.3390/app9102078
25. Chen FQ, Leng YF, Ge JF, Wang DW, Li C, Chen B, et al. Effectiveness of Virtual Reality in Nursing Education: Meta-Analysis. *Journal of medical Internet research*. 2020;22(9):e18290.
doi: 10.2196/18290
26. Moussa R, Alghazaly A, Althagafi N, Eshky R, Borzangy S. Effectiveness of Virtual Reality and Interactive Simulators on Dental Education Outcomes: Systematic Review. *European Journal of Dentistry*. 2022;16(1):14-31.
doi: 10.1055/s-0041-1731837
27. Mikropoulos TA, Natsis A. Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999–2009). *Computers & education*. 2011;56(3):769-780.
doi: 10.1016/j.compedu.2010.10.020
28. Barteit S, Lanfermann L, Bärnighausen T, Neuhann F, Beiersmann C. Augmented, Mixed, and Virtual Reality-Based Head-Mounted Devices for Medical Education: Systematic Review. *JMIR Serious Games*. 2021;9(3):e29080.
doi: 10.2196/29080
29. Tang YM, Au KM, Lau HC, Ho GT, Wu CH. Evaluating the effectiveness of learning design with mixed reality (MR) in higher education. *Virtual Reality*. 2020;24(4):797–807.
doi: 10.1007/s10055-020-00427-9
30. Winkler-Schwartz A, Bissonnette V, Mirchi N, Ponnudurai N, Yilmaz R, Ledwos N, et al. Artificial Intelligence in Medical Education: Best Practices Using Machine Learning to Assess Surgical Expertise in Virtual Reality Simulation. *Journal of surgical education*. 2019;76(6):1681-1690.
doi:10.1016/j.jsurg.2019.05.015
31. Sagioglu S, Sinanc D. Big data: A review. 2003 (International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)) [cited 2022 Sep 28].
doi: 10.1109/CTS.2013.6567202
32. Техническое описание Robo-C [Интернет ресурс]. Промобот; 2022. [дата обращения 17.10.2022]. Режим доступа:
<https://promo-bot.ru/production/robo-c/>
Technical description of Robo-C [Internet]. Promobot; 2022. [cited 2022 Oct 17]. Available from:
<https://promo-bot.ru/production/robo-c/>. (In Russ.).
33. Ertel W, Hassan MM, Agrawal A, Pfahler M. ERTRAG - an ergonomic expert [Internet]. Hochschule Ravensburg-Weingarten; 2019. [cited 2022 Sep 28]. Available from:
<https://www.researchgate.net/project/ERTRAG-an-ergonomic-expert>
34. Техническое описание Promobot V4 [Интернет ресурс]. Промобот; 2022. [дата обращения 17.10.2022]. Режим доступа:
<https://promo-bot.ru/production/promobot-v4/>
Technical description of Promobot V4 [Internet]. Promobot; 2022. [cited 2022 Oct 17]. Available from:
<https://promo-bot.ru/production/promobot-v4/>. (In Russ.).



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Арутюнов Сергей Дарчоевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой цифровой стоматологии Московского государственного медико-стоматологического университета им. А. И. Евдокимова, Москва, Российская Федерация

Для переписки: sd.arutyunov@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6512-8724>

Южаков Александр Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, Российская Федерация

Для переписки: uz@at.pstu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1865-2448>

Автор, ответственный за связь с редакцией:

Харак Ясер Насерович, кандидат медицинских наук, доцент кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний Московского государственного медико-стоматологического университета им. А. И. Евдокимова, Москва, Российская Федерация

Для переписки: c.kharakh@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7181-8211>

Безукладников Игорь Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, Российская Федерация

Для переписки: corrector@at.pstu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1120-1425>

Асташина Наталия Борисовна, кандидат медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой ортопедической стоматологии Пермского государственного медицинского университета имени академика Е. А. Вагнера, Пермь, Российская Федерация

Для переписки: astashina.nb@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1135-7833>

Байдаров Андрей Александрович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой медицинской информатики и управления медицинскими системами Пермского государственного медицинского университета имени академика Е. А. Вагнера, Пермь, Российская Федерация

Для переписки: baa@psma.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3888-3358>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey D. Arutyunov, DMD, PhD, DSc, Professor, Head of the Department of Digital Dentistry, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation

For correspondence: sd.arutyunov@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6512-8724>

Aleksandr A. Yuzhakov, PhD, DSc (Engineering), Professor, Head of the Department "Automation and Telemechanics", Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

For correspondence: uz@at.pstu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1865-2448>

Corresponding author:

Yaser N. Kharakh, DMD, PhD, Associate Professor, Department of Introduction to Dental Diseases, A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russian Federation

For correspondence: c.kharakh@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7181-8211>

Igor I. Bezukladnikov, PhD (Engineering), Associate Professor, Department "Automation and Telemechanics", Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

For correspondence: corrector@at.pstu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1120-1425>

Nataliya B. Astashina, DMD, PhD, Associate Professor, Head of the Department of Prosthodontics, Perm State Medical University named after Academician E. A. Wagner, Perm, Russian Federation

For correspondence: astashina.nb@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1135-7833>

Andrey A. Baidarov, PhD (Engineering), Head of the Department of Medical Informatics and Medical Systems Management, Perm State Medical University named after Academician E. A. Wagner, Perm, Russian Federation

For correspondence: baa@psma.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3888-3358>

Конфликт интересов:

Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов / Conflict of interests:

The authors declare no conflict of interests

Поступила / Article received 23.05.2022

Поступила после рецензирования / Revised 06.11.2022

Принята к публикации / Accepted 01.12.2022