

DOI: 10.18481/2077-7566-2025-21-4-232-242

УДК 616.31:371.672.9].007.52

## СТОМАТОЛОГИЧЕСКИЙ АНТРОПОМОРФНЫЙ РОБОТ КАК СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА ИММЕРСИВНОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ КАДРОВ

Асташина Н. Б.<sup>1</sup>, Байдаров А. А.<sup>2,3</sup>, Южаков А. А.<sup>2</sup>, Майорова Л. В.<sup>1</sup>, Альтудов Ю. К.<sup>4</sup>,  
Мустафаев М. Ш.<sup>4</sup>, Арутюнов С. Д.<sup>5</sup>, Ляпустин С. Б.<sup>1</sup>, Балыбердин Г. М.<sup>1</sup>,  
Валиахметова К. Р.<sup>1</sup>, Мозжевитинова А. И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера, г. Пермь, Россия

<sup>2</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия

<sup>3</sup> ФЦССХ им. С. Г. Суханова, г. Пермь, Россия

<sup>4</sup> Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, г. Нальчик, Россия

<sup>5</sup> Российский университет медицины, г. Москва, Россия

### Аннотация

**Введение.** Разработка и внедрение симуляционных технологий, в основе которых лежит использование роботизированных систем в современном стоматологическом образовании обусловлено необходимостью безопасной и многократной отработки студентами как клинических манипуляций, связанных со стоматологическим лечением, так и алгоритма действий в неотложных ситуациях при их развитии на амбулаторном приеме.

**Цель** — разработка и апробация стоматологического антропоморфного робота для обучения стоматологов с использованием симуляционных кейсов на этапах отработки коммуникативных навыков и практических умений, как при штатном оказании стоматологической помощи, так и при развитии экстренных ситуаций на амбулаторном приеме.

**Методология.** Ключевым решением является разработка и апробация стоматологического антропоморфного робота — пациента, оснащенного комплексными системами «Smart-челюсть» и «Smart-зуб», позволяющими отрабатывать практические умения по лечению кариеса, пульпита, а также препарирования зуба под искусственную коронку и по удалению зуба. Разработан комплекс клинических кейсов и лингвистических сценариев, имитирующих амбулаторный стоматологический прием, во время которого у пациента развиваются неотложные состояния (обморок (синкопе), анафилактический шок, коллапс).

Нами созданы сменные модули для отработки техники проведения инъекций, оснащенные контурами для имитации вены и контроля давления, датчиками прокола, объема жидкости и зажима жгутом, что позволяет в реальном времени отслеживать корректность действий обучающегося.

**Результаты.** Результатом исследования стала интегрированная обучающая система, которая за счет максимальной реалистичности и иммерсивности позволяет формировать устойчивые коммуникативные и мануальные навыки, клиническое мышление и алгоритмизированные действия в критических ситуациях, тем самым повышая общую безопасность и качество оказываемой стоматологической помощи.

**Выводы.** Комбинированный подход, сочетающий традиционное обучение, работу на симуляторах и онлайн-модули, с использованием обновляемых роботизированных комплексов представляется достаточно эффективным при подготовке медицинских кадров.

**Ключевые слова:** высокоточные симуляционные технологии, анафилактический шок, обучение на стоматологическом факультете, экстренная медицинская помощь, лингвистический симуляционный кейс

---

**Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов**

---

**Наталья Борисовна АСТАШИНА** ORCID ID 0000-0003-1135-7833

д.м.н., заведующая кафедрой ортопедической стоматологии Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера, г. Пермь, Россия  
astashina.nb@gmail.com

**Андрей Александрович БАЙДАРОВ** ORCID ID 0000-0002-2009-8143

к.т.н., доцент кафедры автоматики и телемеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, зам. главного врача ФЦССХ им. С. Г. Суханова, г. Пермь, России  
baydarov.aa@ya.ru

**Александр Анатольевич ЮЖАКОВ** ORCID ID 0000-0003-1865-2448

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автоматики и телемеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, России  
uz@at.pstu.ru

**Лилия Владимировна МАЙОРОВА** ORCID ID 0009-0001-6562-6499

к.м.н., доцент кафедры ортопедической стоматологии, Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера, г. Пермь, России  
majorova.liliya@yandex.ru

**Юрий Камбулатович АЛЬГУДОВ** ORCID ID 0009-0005-2520-8267

д.т.н., д.э.н., профессор, ИО ректора, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, г. Нальчик, Россия  
yuka@kbsu.ru

**Магомед Шабазович МУСТАФАЕВ** ORCID ID 0000-0002-4042-9421

д.м.н., профессор, директор института стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, г. Нальчик, Россия  
mismag@mail.ru

**Сергей Дарчович АРУТЮНОВ** ORCID ID 0000-0001-6512-8724

д.м.н., профессор, заведующий кафедрой ортопедической стоматологии и цифровых технологий, Российский университет медицины, г. Москва, Россия  
sd.arutyunov@mail.ru

**Сергей Борисович ЛЯПУСТИН** ORCID ID 0009-0001-8566-1494

к.м.н., заведующий кафедрой анестезиологии и реаниматологии и скорой медицинской помощи, Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера, г. Пермь, Россия  
lyarustin\_doc@rambler.ru

**Глеб Максимович БАЛЫБЕРДИН** ORCID ID 0009-0008-4593-2940

ассистент кафедры ортопедической стоматологии, Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера, г. Пермь, Россия  
glebbalyberdin@yandex.ru

**Камилла Руслановна ВАЛИАХМЕТОВА** ORCID ID 0009-0008-1459-2066

ассистент кафедры ортопедической стоматологии, Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера, г. Пермь, Россия  
valiakhmetovak1998@gmail.com

**Алина Игоревна МОЗЖЕВИТИНОВА** ORCID ID 0009-0000-1822-676X

студент стоматологического факультета, Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера, г. Пермь, Россия  
mzsalina@mail.ru

**Адрес для переписки: Наталья Борисовна АСТАШИНА**

614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, д. 26, кафедра ортопедической стоматологии  
+7 (912) 886-04-20  
astashina.nb@gmail.com

---

**Образец цитирования:**

Асташина Н. Б., Байдаров А. А., Южаков А. А., Майорова Л. В., Альгудов Ю. К., Мустафаев М. Ш., Арутюнов С. Д., Ляпустин С. Б., Балыбердин Г. М., Валиахметова К. Р., Мозжевитинова А. И.

СТОМАТОЛОГИЧЕСКИЙ АНТРОПОМОРФНЫЙ РОБОТ КАК СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА ИММЕРСИВНОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ КАДРОВ. Проблемы стоматологии. 2025; 4: 232-242.

© Асташина Н. Б. и др., 2025

DOI: 10.18481/2077-7566-2025-21-4-232-242

---

Поступила 16.12.2025. Принята к печати 14.01.2026

DOI: 10.18481/2077-7566-2025-21-4-232-242

## AN ANTHROPOMORPHIC DENTAL ROBOT AS A MODERN MEANS OF IMMERSIVE LEARNING FOR TRAINING AND QUALIFICATION OF MEDICAL PERSONNEL

Astashina N.B.<sup>1</sup>, Baidarov A.A.<sup>2,3</sup>, Yuzhakov A.A.<sup>2</sup>, Mayorova L.V.<sup>1</sup>, Altudov Yu.K.<sup>4</sup>, Mustafaev M.Sh.<sup>4</sup>,  
Arutyunov S.D.<sup>5</sup>, Lyapustin S.B.<sup>1</sup>, Balyberdin G.M.<sup>1</sup>, Valiakhmetova K.R.<sup>1</sup>, Mozzhevitinova A.I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Perm State Medical University named after Academician Evgeny Antonovich Wagner, Perm, Russia

<sup>2</sup> Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

<sup>3</sup> Federal Center for Cardiovascular Surgery named after S. G. Sukhanov, г. Пермь, России

<sup>4</sup> Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, Nalchik, Russia

<sup>5</sup> Russian University of Medicine, Moscow, Russia

### Annotation

**Subject.** The development and implementation of simulation technologies based on the use of robotic systems in modern dental education is conditioned by the need for students to safely and repeatedly practice both clinical manipulations related to dental treatment and the algorithm of actions in emergency situations.

**The goal** is to develop and test a dental anthropomorphic robot for training dentists using simulation cases at the stages of practicing communication skills and practical abilities, both during routine dental care and in emergency situations during outpatient appointments.

**Methodology.** The key solution is the development and physical implementation of a dental anthropomorphic patient robot equipped with integrated Smart-jaw and Smart-tooth systems that allow practicing practical skills in the treatment of caries, pulpitis, and tooth preparation for an artificial crown. A set of clinical cases and linguistic scenarios has been developed that simulate an outpatient dental appointment, during which the patient develops urgent conditions (syncope, anaphylactic shock, collapse). We have created interchangeable modules for practicing injection techniques, equipped with contours to simulate a vein and control pressure, puncture sensors, fluid volume and tourniquet clamping, which allows real-time monitoring of the correctness of the student's actions.

**Results.** The result of the research is an integrated learning system that, due to its maximum realism and immersiveness, allows for the formation of stable communicative and manual skills, clinical thinking and algorithmic actions in critical situations, thereby improving the overall safety and quality of dental care.

**Conclusion.** A combined approach combining traditional training, work on simulators and online modules, using updated robotic complexes, seems to be quite effective in training medical personnel.

**Keywords:** *High-precision simulation technologies, anaphylactic shock, dental faculty training, emergency medical care, linguistic simulation case*

---

The authors declare no conflict of interest

---

**Natalia B. ASTASHINA** ORCID ID 0000-0003-1135-7833

Grand PhD in Medical Sciences, Head of the Department of Prosthetic Dentistry, E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, Russia  
astashina.nb@gmail.com

**Andrey A. BAYDAROV** ORCID ID 0000-0002-2009-8143

PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automation and Telemechanics at the Perm National Research Polytechnic University, S.G. Sukhanov, Perm, Russia  
baydarov.aa@ya.ru

**Aleksandr A. YUZHAKOV** ORCID ID 0000-0003-1865-2448;

Grand PhD in Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Automation and Telemechanics, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia  
uz@at.pstu.ru

**Lilia V. MAIOROVA** ORCID ID 0009-0001-6562-6499

PhD in Medical Sciences, Associate Professor; Department of Prosthetic Dentistry, E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, Russia  
majorova.liliya@yandex.ru

**Yuri K. ALTUDOV** ORCID ID 0009-0005-2520-8267

Grand PhD in Technical Sciences, Grand PhD in Economics, Professor, Acting Rector of the Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, Nalchik, Russia  
yka@kbsu.ru

**Magomet S. MUSTAFAEV** ORCID ID 0000-0002-4042-9421

Grand PhD in Medical Sciences, Professor, Director of the Institute of Dentistry and Maxillofacial Surgery, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, Nalchik, Russia  
musmag@mail.ru

**Sergey D. ARUTYUNOV** ORCID ID 0000-0001-6512-8724

Grand PhD in Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Orthopedic Dentistry and Digital Technologies at the Russian University of Medicine, Moscow, Russia  
sd.arutyunov@mail.ru

**Sergey B. LYAPUSTIN** ORCID ID 0009-0001-8566-1494

PhD in Medical Sciences, Head of the Department of Anesthesiology and Resuscitation and Emergency Medicine, E.A. Wagner Perm State Medical University, Perm, Russia  
lyapustin\_doc@rambler.ru

**Gleb M. BALLYBERDIN** ORCID ID 0009-0008-4593-2940

Assistant Professor of the Department of Prosthetic Dentistry, Perm State Medical University. Academician E.A. Wagner, Perm, Russia  
glebbalyberdin@yandex.ru

**Kamilla R. VALIAKHMETOVA** ORCID ID 0009-0008-1459-2066

Assistant Professor of the Department of Prosthetic Dentistry, Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, Perm, Russia  
valiakhmetovak1998@gmail.com

**Alina I. MOZZHEVITINOVA** ORCID ID 0009-0000-1822-676X

Student of the Faculty of Dentistry, Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, Perm, Russia  
mozzalina@mail.ru

**Correspondence address: Natalia B. ASTASHINA**

26 Petropavlovskaya Str., Perm, 614990, Russia (Department of Prosthetic Dentistry)  
+7 (912) 886-04-20

astashina.nb@gmail.com

---

**For citation:**

Astashina N.B., Baidarov A.A., Yuzhakov A.A., Mayorova L.V., Altudov Yu.K., Mustafaev M.Sh., Arutyunov S.D., Lyapustin S.B., Balyberdin G.M., Valiakhmetova K.R., Mozzhevitinova A.I.

ANANTHROPOMORPHIC DENTAL ROBOT AS A MODERN MEANS OF IMMERSIVE LEARNING FOR TRAINING AND QUALIFICATION OF MEDICAL PERSONNEL.

Actual problems in dentistry. 2025; 43: 232-242. (In Russ.)

© Astashina N.B. et al., 2025

DOI: 10.18481/2077-7566-2025-21-4-232-242

---

Received 16.12.2025. Accepted 14.01.2026

## Введение

Современное стоматологическое образование требует постоянного совершенствования технологий и методов обучения. В сегодняшних реалиях выпускник стоматологического факультета должен обладать, как высоким уровнем мануальных умений и клинического мышления, так и владеть тактикой оказания экстренной медицинской помощи в неотложных ситуациях, в том числе, связанных с наличием хронических заболеваний, не имеющих клинических проявлений, в частности, аллергических реакций на лекарственные препараты и местные анестетики, используемые в стоматологии.

В связи с этим необходимость применения в программе обучения симуляционных курсов становится неотъемлемой частью образовательного процесса. На сегодняшний день в медицинском образовании ведущую роль играют высокоточные симуляции, показавшие себя, как наиболее современные и эффективные. Они обеспечивают безопасную отработку и совершенствование врачебных навыков без участия пациента. Студенты на этапах обучения имеют возможность многократно выполнять сложные манипуляции до достижения необходимого уровня практических умений. При повторении одинаковых или близких по структуре и амплитуде движений, особенно характерных для стоматологии, у обучающихся формируется стойкая мышечная память и обеспечивается сохранение освоенных навыков. Кроме того, высокоточные симуляции дают возможность студентам научиться быстро принимать решения и развивать критическое мышление. На этапах симуляционного обучения учащиеся оценивают состояние пациента, учатся анализировать данные, полученные в результате проведенного обследования и реализовывать планы лечения в реальном времени. Этот процесс соответствует требованиям клинической практики, где быстрое и точное принятие решений имеет важное значение [2, 15].

Применение современных роботов дает возможность смоделировать реалистичную клиническую ситуацию, включая жалобы, историю жизни и заболевания, что позволяет студенту отрабатывать сбор анамнеза, физикальный осмотр, диагностику, постановку диагноза и выбор метода лечения [18].

Исследования показали, что обучение с использованием высокоточных симуляторов повышает уверенность учащихся при существенном уменьшении количества ошибок, что позволит обеспечить клиническую эффективность при реальной работе с пациентами [3, 14].

Для достижения общей клинической компетентности студенты, в первую очередь, должны обладать коммуникативными навыками, в частности, умением общаться как с пациентами, так и персоналом клиники, в том числе, с членами медицинской бригады; во вторых, овладеть техникой и тактикой проведения манипуляций и процедур; в третьих, принимать решения в сложных, а иногда в критических условиях медицинского приема [4, 11].

Комплексный и гибкий подход к формированию основных врачебных компетенций состоит в сочетании

симуляции и традиционного обучения, демонстрации практического клинического опыта, а также использования возможностей онлайн-обучения.

В реальной жизни врач-стоматолог сталкивается с множеством различных факторов и клинических ситуаций, которые могут возникать не по отдельности, а в совокупности. При этом, кроме естественных процессов в рамках работы специалисты стоматологического профиля часто встречаются с нежелательными реакциями и последствиями при осуществлении медикаментозной подготовки перед началом лечения, например, при проведении анестезии, что также может приводить к нежелательным реакциям и неотложным состояниям [7].

В ежедневной практике врача стоматолога любого профиля возникают ситуации, когда необходимо провести местное обезболивание. В современной стоматологии безболезненное лечение пациента является одним из основополагающих принципов оказания помощи, а применение местных анестетиков является обязательной необходимостью. За последние годы рынок местных анестетиков существенно вырос в своем разнообразии, что позволяет сделать выбор эффективного и безопасного препарата для адекватного обезболивания [8, 10]. Однако, врачу необходимо помнить о возможном развитии реакций гиперчувствительности, а так же, расстройств со стороны сердечно-сосудистой и центральной нервной системы [9, 13]. Помимо того, актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена рядом специфических особенностей амбулаторного приема. Во-первых, это массовый вид специализированной медицинской помощи, которая нередко, а у пожилых пациентов — как правило, оказывается на фоне сопутствующей соматической или психоневрологической патологии. Во-вторых, стоматологические манипуляции выполняются в мощной рефлексогенной зоне, поэтому у пациентов, имеющих опыт лечения в условиях недостаточной анестезии, наблюдается страх перед стоматологическим вмешательством, что создает характерный психоэмоциональный настрой и определяет усиленные либо извращенные реакции даже на подпороговые раздражители. В-третьих, возможности полного обследования больного с целью выявления нарушений структуры и функции жизненно важных органов и систем в условиях стоматологической амбулатории ограничены. Подготовка медицинского персонала к оказанию первой помощи, включая неотложные мероприятия, является одним из наиболее важных факторов, позволяющих соблюдать современные требования по обеспечению безопасности здоровья и жизни пациентов при оказании им стоматологической помощи [1].

Одними из наиболее часто встречающихся неотложных состояний на стоматологическом приеме являются:

- обморок — приступ кратковременной потери сознания, обусловленный преходящей ишемией головного мозга, с ослаблением сердечной деятельности и дыхания;

- коллапс — (сосудистая недостаточность) возникает при изменении соотношения между объемом циркулирующей крови и емкостью сосудистого русла;
- гипертензивные неотложные состояния, в частности, гипертонический криз — резкое обострение болезни на короткий срок, характеризующееся рядом нервно-сосудистых нарушений и последующими гуморальными реакциями;
- анафилактический шок — аллергическая реакция немедленного типа, состояние резко повышенной чувствительности организма, развивающееся при повторном введении аллергена.

По данным литературы известно, что при применении местных анестетиков наиболее часто развивались нежелательные реакции легкой степени тяжести (69 случаев, 56,55%), менее часто наблюдались нежелательные реакции средней (43 случая, 35,25%) и тяжелой (10 случаев, 8,2%) степени, но при этом вероятность их возникновения достаточно высока [9]. В связи с этим использование новых подходов к обучению студентов тактике оказания неотложной помощи пациентам является весьма актуальной задачей. На наш взгляд, одним из наиболее оптимальных вариантов, позволяющих одновременно освоить, коммуникативные, практические, мануальные навыки и алгоритм действий при развитии нештатных ситуаций на амбулаторном стоматологическом приеме является использование для обучения симулятора в виде стоматологического антропоморфного робота [20].

**Цель работы** — разработка и апробация стоматологического антропоморфного робота для обучения стоматологов с использованием симуляционных кейсов на этапах отработки коммуникативных навыков и практических умений, как при штатном оказании стоматологической помощи, так и при развитии экстренных ситуаций на амбулаторном приеме.

#### **Материалы и методы исследования**

Для симуляционного обучения стоматологов, коллективом авторов в рамках консорциума ВУЗов [19] был создан стоматологический антропоморфный робот на базе платформы Robo-C (компании Promobot, г. Пермь) (рис. 1).

Для овладения коммуникативными и диагностическими навыками на стоматологическом приеме нами разработаны лингвистические сценарии, а для отработки стоматологических манипуляций создана серия кейсов, имитирующих реальные клинические ситуации, в частности: лечение кариеса и пульпита, удаление зуба, препарирование зуба под искусственную коронку, припасовка и фиксация искусственной коронки.

Для обучающегося важно освоить последовательность действий и уметь отслеживать причинно-следственные связи при возникновении ошибок. Согласно разработанному нами подходу, каждый этап стоматологического лечения, проводимый обучающимся, отслеживается как ведущим преподавателем, так и самим роботом для адекватной проверки и устранения погрешностей в процессе обучения. Каждая ошибка, которая

не будет рассматриваться или будет упущена студентом, является риском появления осложнений у пациента при оказании стоматологической помощи. Так, например, создание излишней конусности зуба при препарировании, повлечет за собой расцементирование реставрации, а формирование острого края может привести к его отколу в процессе использования ортопедической конструкции. Таким образом, если студент допускает погрешности при освоении обучающего кейса, то согласно методике работы с роботизированной системой, допущенные ошибки подробно анализируются и обучающийся имеет возможность натренировать навыки безошибочных действий.

В качестве основы кейса по препарированию зуба под искусственную коронку внесена методика Герберта Шилинбурга, Ричарда Якоби и Сюзан Бракетт, являющаяся одной из базовых при обучении нормам и этапам одонтопрепарирования [5]. Последовательность действий, которая включена в кейс по изготовлению искусственной коронки зуба, отражает основные принципы препарирования, которые необходимы для создания ретенции, сохранности и физиологической функциональности искусственной коронки при максимальном сохранении твердых тканей зубов (рис. 2).

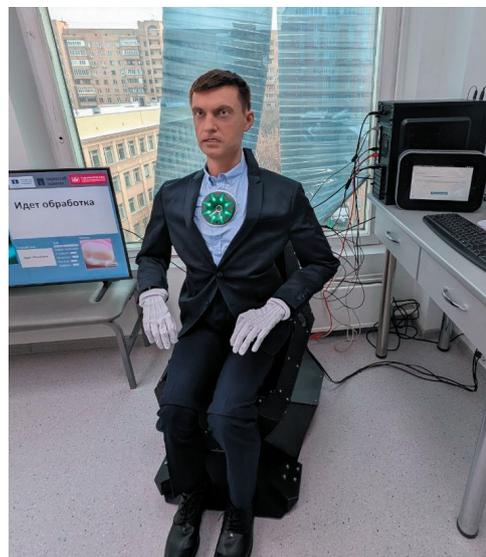


Рис. 1. Стоматологический антропоморфный робот

Fig. 1. Dental anthropomorphic robot



Рис. 2. Модель отпрепарированного зуба по методике Герберта Шилинбурга

Fig. 2. Model of a prepared tooth using Herbert Schillingburg's technique

Методика препарирования включает в себя следующую этапность действий:

1) маркировка глубины препарирования специальными маркировочными алмазными головками, которые подбираются исходя из клинической ситуации и типа материала ортопедической конструкции;

2) формирование осевых поверхностей вестибулярной, язычной или небной, в зависимости от челюсти, и апроксимальных поверхностей зуба, с одновременным созданием уступа для будущей коронки, для этого студенту необходимо использовать цилиндрические головки с закругленным торцом;

3) создание анатомически правильной окклюзионной поверхности с применением оливовидных и пламявидных алмазных головок;

4) полировка всех острых краев культи зуба и уступа для точной посадки искусственной коронки и избежания осложнений, связанных с излишней внутренней напряженностью при фиксации коронки. На этом этапе студент пользуется полировочными дисками и специальными резинками для полировки зубов.

При многократной отработке навыка препарирования зубов, студенты достигают определенной уверенности, что безусловно, впоследствии будет способствовать повышению безопасности и качества лечения [6, 12, 21].

Для освоения навыков оказания неотложной помощи при обмороке (синкопе), коллапсе и анафилактическом шоке на стоматологическом приеме были разработаны специализированные кейсы. В разработанный сценарий клинического приема «Препарирование твердых тканей зуба под коронку» (рис. 3), включен этап оказания неотложной медицинской помощи.



Рис. 3. Этап выполнения кейса препарирования зуба  
Fig. 3. The stage of performing the tooth preparation case

### Результаты исследования и их обсуждение

Максимальная приближенность внешнего вида стоматологического антропоморфного робота к облику

человека позволяет вывести иммерсивность процесса обучения на принципиально новый уровень и в совокупности с формированием ситуаций в клиническом аспекте, на основе современных клинических рекомендаций, дает принципиально новые возможности в формировании клинического мышления.

Нами была разработана серия кейсов-сценариев с использованием сменных Smart-зубов и Smart-челюсти (рис. 4), применение которых обеспечивает обратную связь при проведении стоматологических манипуляций [16, 17].

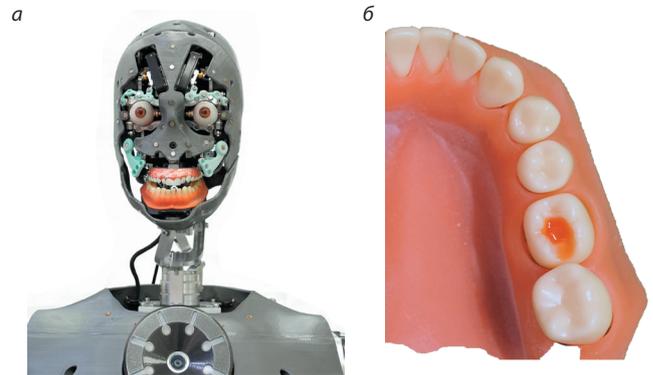


Рис. 4. Вид Smart-челюсти со Smart-зубами: а) в структуре антропоморфного робота; б) вид в реальном размере  
Fig. 4. View of the Smart-jaw with Smart-teeth: a) in the structure of an anthropomorphic robot; b) view in real size

Один из разработанных сценариев включал в себя следующие условия: на стоматологическом приеме врача стоматолога ортопеда оказался пациент, роль которого исполняет стоматологический антропоморфный робот. Он заранее был назначен врачом-стоматологом для первого клинического этапа изготовления коронки зуба. Для погружения в реальные условия приема пациента в кейс внесены не только клинические требования, но и юридические аспекты приема стоматологического больного, как например, подписание индивидуального информированного согласия на медицинское вмешательство. В соответствии с медицинскими стандартами врач-стоматолог заранее собирает весь анамнез заболевания и анамнез жизни пациента (Что вас беспокоит? На что вы жалуетесь? Было ли у вас ранее стоматологическое лечение данного зуба, который вас беспокоит?). В кейсе, содержащем тактику протезирования с применением искусственной коронки зуба, этапы проводятся последовательно: изготовление силиконового ключа, препарирование зуба, снятие оттиска. Согласно современным стандартам ортопедического лечения несъемными конструкциями по завершении первого клинического этапа студенту необходимо изготовить временную пластмассовую коронку для защиты культи после препарирования. Проведение этапов требует от студента как правильного мануального выполнения процедур, так и разъяснения этапов лечения пациенту. Каждый шаг обучающегося анализируется самим антропоморфным роботом для выявления ошибок, которые по окончании будут показаны студенту.

В один из обучающих модулей нами был включен блок, позволяющий оказывать медицинскую помощь при неотложных состояниях, развивающихся на амбулаторном стоматологическом приеме, который позволяет максимально реалистично генерировать нештатные ситуации [16, 17]. По условиям задачи пациенту ранее не проводилось лечение с применением местных анестетиков или пациент не помнит о такой анестезии. Этот факт уже должен развить настороженность у студента, чтобы он мог ожидать развития нежелательных реакций после постановки анестезии. Первым этапом после обсуждения с пациентом плана приема и всех предстоящих манипуляций, врач стоматолог приступает к местному инъекционному обезболиванию. После введения анестетика антропоморфный робот незамедлительно имитирует анафилактический шок. Обучающийся должен немедленно приступить к выполнению алгоритма действий в экстренной ситуации.

На базе ПГМУ им. академика Е. А. Вагнера были проведены тренинги с практикующими стоматологами, направленные на отработку действий при развитии описываемого неотложного состояния. Эти занятия показали высокий уровень востребованности и актуальности рассмотрения данного вопроса (рис. 5).

Согласно клиническим рекомендациям в описываемый кейс был внесен последовательный алгоритм действий, рекомендованный ассоциацией анестезиологов и реаниматологов России:

- 1) немедленно остановить введение лекарственного препарата (в случае стоматологического приема, данным препаратом является раствор анестетика), для снижения тяжести анафилактической реакции;
- 2) дать команду ассистенту вызвать бригаду скорой медицинской помощи;
- 3) придать пациенту положение Тренделенбурга (положение пациента с приподнятыми ногами и повернуть голову на бок). Большинство стоматологических

установок позволяет придать данное положение не переноса пациента. Студент должен учесть, что пациента нельзя усаживать, это может привести к летальному исходу в следующие несколько минут при быстром развитии неотложного состояния.

4) далее пациенту с анафилактическим шоком рекомендуется введение эпинефрина для купирования острого состояния, с последующим контролем состояния пациента. При отсутствии реакции на первую введенную дозу необходимо повторное введение препарата;

5) бригада скорой медицинской помощи, должна принять пациента с экстренной госпитализацией в ближайшее лечебное заведение с введением глюкокортикостероидов для предотвращения дестабилизации пациента в последующие периоды. Также бригада скорой медицинской помощи при укладывании пациента в машину скорой помощи должна обеспечить пациента кислородом, поступающим через лицевую маску.

6) в стационаре, принимающем больного, проводят спектр анализов и подключают введение кристаллоидов для стабилизации пациента и наблюдением в стационарных условиях не менее чем 24 часа.

Важным фактором, обеспечивающим эффективное оказание неотложной помощи пациенту, является слаженная работа персонала стоматологической клиники до приезда бригады скорой медицинской помощи. С учетом этого, при создании лингвистической базы нами были произведены настройки и адаптация клинических кейсов с внесением условий, обеспечивающих отработку навыков коммуникации как между врачом-стоматологом и его ассистентом (медсестрой), так и при междисциплинарном взаимодействии с врачами бригады скорой медицинской помощи.

Робот-пациент становится участником процесса, и его реакции влияют на ход условного врачебного приема, создавая уникальный опыт для каждого занятия. Примененный подход позволяет создать максимально реали-



Рис. 5. Разбор практических кейсов и мастер-классы по неотложным состояниям для врачей-стоматологов

Fig. 5. Case studies and workshops on emergency conditions for dentists



Рис. 6. Отработка этапа препарирования зуба обучающимся с трансляцией процесса на экран монитора

Fig. 6. Training a student to prepare a tooth with the process being broadcast on a monitor screen

стичную и многогранную среду обучения, позволяющую студентам и практикующим врачам отрабатывать навыки комплексно (рис. 6).

Для реализации комплексного кейса роботизированная система «Стоматологический антропоморфный робот» была дополнительно оснащена специальным устройством для введения инъекций. Структурная электрическая схема программно-аппаратного комплекса для оказания помощи при имитации обморока и анафилактического шока у пациента включает следующие блоки (рис. 7):

- Электропитание (5V, 1A);
- Насос для перекачки жидкости;
- Воздушный насос;
- Блок контроля зажима (резистивный тензодатчик и контроллер НХ711);
- Блок измерения объема жидкости (датчик Холла);
- Блок контролирующей прокол (емкостный датчик);
- Блок обрабатывающий данные (микрокомпьютер Raspberry Pi);

Основание содержит в себе два контура:

- контур вены (В1) — замкнутая система для циркуляции жидкости;
- контур сброса/накачки воздуха (Т1) — замкнутая система для контроля давления воздуха.

Венозный контур В1 представляет собой замкнутую циркуляторную систему для прокачки жидкости. Подключение к контуру (латексным трубкам) осуществляется через фитинги (Ф). Контур содержит в себе емкость, которая оснащена резиновой мембраной (РМ) для выравнивания давления с наклеенным на мембрану магнитом (М). Положение магнита определяется с помощью аналогового датчика Холла SS49E, который подключен к микрокомпьютеру Raspberry Pi. Положение магнита изменяется пропорционально введению/выведению жидкости из системы. Выведение жидкости из системы происходит через вентиль сброса.

Физическая реализация компонента (рис. 8) была выполнена с учетом: ГОСТ Р 52623.3-2015 Технологии выполнения простых медицинских услуг. Манипуляции сестринского ухода; ГОСТ Р 52623.4-2015 Технологии выполнения простых медицинских услуг инвазивных вмешательств; ГОСТ Р 52623.1-2008 Технологии выполнения простых медицинских услуг функционального обследования.

Таким образом, исследовательской группой разработаны и сформированы новые стратегии к обучению врачей стоматологов в рамках подготовки от специалиста до прохождения соответствующих курсов и программ профессиональной переподготовки и повышения квалификации. Предлагаемые подходы позволяют воспроизвести реальные условия клинического приема, включают в себя вариативные симуляционные кейсы, для отработки и закрепления материала через многократное повторение алгоритмов действий. Использование симуляционных роботов, оснащенных элементами искусственного интеллекта, дает возможность обучающимся

освоить алгоритмы работы и совершенствовать практические умения в безопасной среде. Важным является тот факт, что обучающийся может как проанализировать и устранить ошибки, так и довести осваиваемые навыки до автоматизма.

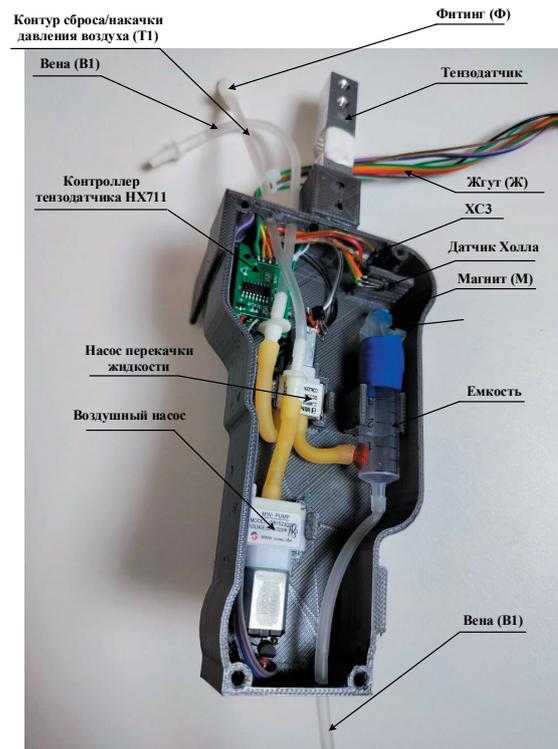


Рис. 7. Основание с установленными компонентами

Fig. 7. Base with installed components



Рис. 8. Физическая реализация компонента: размещение специального устройства для проведения инъекций в структуре антропоморфного стоматологического робота

Fig. 8. Physical implementation of the component: placement of a special device for administering injections in the structure of an anthropomorphic dental robot

Подход к обучению, включающий в себя традиционную теоретическую подготовку с практическими курсами на клинических базах, при дополнении отработки навыков на высокоточных симуляционных роботах

с обучающими онлайн-модулями, дают возможность реализовать адаптивный подход к выработке основных врачебных компетенций.

## Литература/References

1. Асташина Н.Б., Прелюс И.Н., Ляпустин С.Б. Неотложные состояния в амбулаторной стоматологической практике. Учебное пособие. ФГБОУ ВО ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера Министерства здравоохранения Российской Федерации. — Пермь, 2024. — 82 с. [Astashina N.B., Prelous I.N., Lyapustin S.B. Emergency conditions in outpatient dental practice. Study guide. Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner of the Ministry of Health of the Russian Federation. — Perm, 2024. — 82 p. (in russ.) ISBN 978-5-7812-0737-4
2. Байдаров А.А., Вронский А.С., Лазарьков П.В., Асташина Н.Б., Шамарина А.М., Валиахметова К.Р. и др. Роль симуляционного обучения с применением роботизированных систем в медицинском образовании. Институт стоматологии. 2024;(4):114–116. [Baidarov A.A., Vronskiy A.S., Lazarkov P.V., Astashina N.B., Shamarina A.M., Valiakmetova K.R. et al. The impact of simulation training using robotic systems on medical education. The Dental Institute. 2024;(4):114–116. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80256482>
3. Байдаров А.А., Асташина Н.Б., Валиахметова К.Р., Лазарьков П.В., Шамарина А.М. Отработка навыков оказания помощи при неотложных состояниях у врачей стоматологов с использованием антропоморфных симуляционных роботов. Виртуальные технологии в медицине. 2024;(3):312–313. [Baidarov A.A., Astashina N.B., Valiakmetova K.R., Lazarkov P.V., Shamarina A.M. Training of Skills of Providing Assistance in Emergency Conditions to Dentists Using Anthropomorphic Simulation Robots. Virtual Technologies in Medicine. 2024;(3):312–313. (In Russ.)]. [https://doi.org/10.46594/2687-0037\\_2024\\_3\\_1973](https://doi.org/10.46594/2687-0037_2024_3_1973)
4. Байдаров А.А., Вронский А.С., Лазарьков П.В., Асташина Н.Б., Шамарина А.М. Эффективность освоения пациент-ориентированной междисциплинарной модели взаимодействия на примере робот-ассистированных технологий обучения. Пермский медицинский журнал. 2024;41(6):134–140. [Baidarov A.A., Vronskiy A.S., Lazarkov P.V., Astashina N.B., Shamarina A.M. The effectiveness of mastering a patient-oriented interdisciplinary model of interaction on the example of robot-assisted learning technologies. Perm Medical Journal. 2024;41(6):134–140. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/pmj416134-140>
5. Шилинбург младший Г., Якоби Р., Браккетт С. Основы протезирования зубов: для изготовления литых металлических и керамических реставраций. Москва: Азбука; 2006. 400 с. [Shilinburg Jr. G., Jacobi R., Brackett S. Fundamentals of Tooth Preparations: for Cast Metal and Porcelain Restorations. Moscow: Azbuka; 2006. 400 p. (In Russ.)]. <https://djuv.online/file/UtziZGxFL0vAo?ysclid=mjlb6p9w9s219441843>
6. Еричев В.В., Арутюнов А.В., Лапина Н.В., Старченко Т.П., Пономаренко И.Н., Старченко В.И. Процесс формирования мануальных навыков студентов стоматологического факультета на кафедре ортопедической стоматологии ГБОУ ВПО КубГМУ Минздрава России. Международный журнал экспериментального образования. 2014;(10):129–131. [Erichov V.V., Arutyunov A.V., Lapina N.V., Starchenko T.P., Ponomarenko I.N., Starchenko V.I. The process of forming manual skills of dentistry students at the department of orthopedic dentistry of the Kuban State Medical University of the Ministry of health of the Russian Federation. International journal of experimental education. 2014;(10):129–131. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=22308414>
7. Карпуки Ю. Аллергические реакции на местные анестетики: диагностика и профилактика. Вестник ВГМУ. 2009;8(3):61–68. [Karpuk I.Yu. Allergic reactions to local anesthetics: diagnosis and prevention. Vestnik VGMU. 2009;8(3):61–68. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=13079810>
8. Лебедев К.А., Понякина И.Д., Митронин А.В., Саган Л.Г., Торчаков М.Е., Годунова М.И. Аллергические реакции на местные анестетики и методы их диагностики. Стоматология для всех. 2005;(3):16–22. [Lebedev K.A., Ponyaikina I.D., Mitronin A.V., Sagan L.G., Gorchakov M.E., Godunova M.I. Allergic reactions to local anesthetics and methods of their diagnosis. International Dental Review. 2005;(3):16–22. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11907083>
9. Матвеев А.В., Крашенинников А.Е., Ягудина Р.И., Егорова Е.А., Коняева Е.И. Нежелательные реакции на местные анестетики при их применении в стоматологии. Стоматология. 2020;99(6):82–88. [Matveev A.V., Krashenninikov A.E., Yagudina R.I., Egorova E.A., Konyayeva E.I. Adverse drug reactions of local anesthetics used in dentistry. Stomatology. 2020;99(6):82–88. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44298779>
10. Передкова Е.В. Непереносимость местных анестетиков. Алгоритм выбора препарата. Эффективная фармакотерапия. 2013;(20):44–51. [Peredkova Ye. V. Local anesthetics intolerance. How to prevent. Effektivnaya farmakoterapiya. 2013;(20):44–51. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21404795>
11. Ростовец В.В. Разработка и оценка эффективности методик виртуально-симуляционного обучения по одонтопрепарированию в системе вузовского и непрерывного медицинского образования по специальности «стоматология»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук. Воронеж; 2022. 46 с. [Rostovets V.V. Development and evaluation of the effectiveness of virtual simulation training methods for odontopreparation in the system of university and continuing medical education in the specialty “dentistry”: abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Medical Sciences. Voronezh; 2022. 46 p. (In Russ.)]. [https://rusneb.ru/catalog/000199\\_000009\\_011110783?ysclid=mjmmj956sd0969681028](https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_011110783?ysclid=mjmmj956sd0969681028)
12. Севбитов А.В., Митин М.Е., Браго А.С., Васильев Ю.Л., Кузнецова М.Ю. Анализ ошибок студентов-стоматологов при переходе от фантома в реальные условия препарирования. Наука молодых (Eruditio Juvenum). 2017;5(1):83–88. [Sevbitov A.V., Mitin M.E., Brago A.S., Vasiliev Yu.L., Kuznetsova M.Yu. Error analysis of dental students in the transition from phantom to real conditions of preparation. Science of the Young (Eruditio Juvenum). 2017;5(1):83–88. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28840900>
13. ВИДАЛЬ: справочник лекарственных средств. [VIDAL: Drug Information System]. Доступно на / Available from: <https://www.vidal.ru/>
14. Таиров В.В., Адамчик А.А., Камышников И.О. Симуляционный курс как основа подготовки специалиста на кафедре терапевтической стоматологии. Международный научно-исследовательский журнал. 2021;(5–2):116–118. [Tairov V.V., Adamchik A.A., Kamyshnikov I.O. Simulation course as a basis for specialist training at an academic department of preventive dentistry. International research journal. 2021;(5–2):116–118 (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45781131>
15. Фелькер Е.В., Ячменева Л.А., Бароян М.А., Зубкова А.А., Винокур А.В. Симуляционные технологии обучения в современном стоматологическом образовании: анализ мнений студентов. Перспективы науки и образования. 2020;(5):135–146. [Felker E.V., Yachmeneva L.A., Baroyan M.A., Zubkova A.A., Vinokur A.V. Simulation learning technologies in modern dental education: analysis of students' opinions. Perspectives of science and education. 2020;(5):135–146. (In Russ.)]. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44130095>
16. Южаков А.А., Янушевич О.О., Арутюнов С.Д., Безукладников И.И., Минаева Н.В., Байдаров А.А. и др., авторы; ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России и др., патентообладатели. Smart-зуб для стоматологического антропоморфного робота. Российская Федерация патент RU 2814393. Опубликовано. 28.02.2024. [Yuzhakov A.A., Yanushevich O.O., Arutyunov S.D., Bezukladnikov I.I., Minaeva N.V., Bajdarov A.A. et al., inventors; FGBOU VO MGMSU im. A.I. Evdokimova Minzdrava Rossii et al., assignee. Smart jaw for dental anthropomorphic robot. Russian Federation patent RU 2814393. Date of publication: 28.02.2024. (In Russ.)]. <https://www1.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=23aa01d13e222638359ba19155015520>
17. Южаков А.А., Янушевич О.О., Арутюнов С.Д., Безукладников И.И., Минаева Н.В., Байдаров А.А. и др., авторы; ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России и др., патентообладатели. Smart-зуб для стоматологического антропоморфного робота. Российская Федерация патент RU 2813332. Опубликовано. 12.02.2024. [Yuzhakov A.A., Yanushevich O.O., Arutyunov S.D., Bezukladnikov I.I., Minaeva N.V., Bajdarov A.A. et al., inventors; FGBOU VO MGMSU im. A.I. Evdokimova Minzdrava Rossii et al., assignee. Smart tooth for dental anthropomorphic robot. Russian Federation patent RU 2813332. Date of publication: 12.02.2024. (In Russ.)]. <https://www1.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=ae85b14229ba5276ef6cfe153a8b21ea>
18. Байдаров А.А., Кокуюлин Р.А., Сторожев С.А., Южаков А.А., Арутюнов С.Д., Асташина Н.Б. Элементы образовательной технологии 4.0 на примере дополненной реальности с использованием аватара антропоморфного стоматологического робота-симулятора. Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2024;27(4):79–78. [Baidarov A.A., Kokoulin R.A., Storozhev S.A., Yuzhakov A.A., Arutyunov S.D., Astashina N.B. Elements of Educational Technology 4.0 on the Example of Augmented Reality Using an Avatar of an Anthropomorphic Dental Robot Simulator. Vestnik IzhGTU Imeni M.T. Kalashnikova. 2024;27(4):79–78. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.22213/2413-1172-2024-4-79-89>
19. Янушевич О.О., Ташкинов А.А., Минаева Н.В., Арутюнов С.Д., Асташина Н.Б., Байдаров А.А. и др. Стоматологический антропоморфный робот. Новая эра в имитации врачебных манипуляций и клинического приема. Cathedra-Кафедра. Стоматологическое образование. 2021;(78):64–67. [Yanushevich O., Tashkinov A., Minaeva N., Arutyunov S., Astashina N., Bajdarov A. et al. Dental anthropomorphic robot. A new era in imitation of medical manipulation and clinical admission. Cathedra-Kafedra. Stomatologičeskoe obrazovanie. 2021;(78):64–67. (In Russ.)]. <http://cathedra-mag.ru/article/стоматологический-антропоморфный-ро>
20. Wang L., Zhou Y., Chiao B. Robots and firm innovation: Evidence from Chinese manufacturing. Journal of Business Research. 2023;162(2):113878. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113878>
21. Taber J.M., Leyva B., Persoskie A. Why do people avoid medical care? A qualitative study using national data. Journal of general internal medicine. 2015;30(3):290–297. <https://doi.org/10.1007/s11606-014-3089-1>