

Я.Н. Харах<sup>1</sup>,

к.м.н., доцент кафедры ортопедической стоматологии и цифровых технологий

А.А. Южаков<sup>2</sup>,

д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Автоматика и телемеханика»

А.А. Байдаров<sup>2</sup>,

к.т.н., доцент кафедры «Автоматика и телемеханика»

Н.Б. Асташина<sup>3</sup>,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой ортопедической стоматологии

С.Д. Арутюнов<sup>1</sup>,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой ортопедической стоматологии и цифровых технологий

<sup>1</sup> Российский университет медицины, 127006, Москва, Россия

<sup>2</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, Пермь, Россия

<sup>3</sup> ПГМУ им. акад. Е.А. Вагнера, 614000, Пермь, Россия

## Антропоморфный стоматологический робот в практико-ориентированном образовании: перспективы совершенствования

**Аннотация.** В статье представлен обзор современных разработок в области антропоморфных стоматологических роботов и их применения в практико-ориентированном образовании. Цель исследования заключается в оценке физических и функциональных аспектов антропоморфности роботов, их влияния на психометрические характеристики обучающихся, а также в анализе перспектив развития данных технологий. В работе рассмотрены ключевые компоненты антропоморфных роботов, такие как датчики движения, системы распознавания эмоций и синтеза речи, а также возможности использования облачных технологий для повышения эффективности образовательного процесса. Полученные результаты демонстрируют, что антропоморфные роботы способствуют улучшению образовательных методик, углублению понимания учебного материала и развитию профессиональных навыков у студентов. Тем не менее отмечены технологические вызовы, требующие дальнейших исследований, включая улучшение реалистичности движений, голосового взаимодействия и интеграции сенсорных систем. Предполагается, что дальнейшее развитие технологий обработки данных и облачных сервисов будет способствовать созданию более интерактивных и адаптивных образовательных платформ, что повысит вовлеченность и удовлетворенность студентов.

**Ключевые слова:** антропоморфизм, образовательные технологии, робототехника, стоматологическое образование, симуляционное обучение

### ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Харах Я.Н., Южаков А.А., Байдаров А.А., Асташина Н.Б., Арутюнов С.Д. Антропоморфный стоматологический робот в практико-ориентированном образовании: перспективы совершенствования. — Клиническая стоматология. — 2024; 27 (4): 61—69. DOI: 10.37988/1811-153X\_2024\_4\_61

Y.N. Kharakh<sup>1</sup>,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Prosthodontics and digital technologies Department

A.A. Yuzhakov<sup>2</sup>,

Doctor of Science in Engineering, full professor of the “Automatics and telemechanics” department

A.A. Baydarov<sup>2</sup>,

PhD in Engineering, assistant professor of the “Automatics and telemechanics” department

N.B. Astashina<sup>3</sup>,

Doctor of Science in Medicine, full professor of the Prosthodontics Department

S.D. Arutyunov<sup>1</sup>,

Doctor of Science in Medicine, full professor of the Prosthodontics and digital technologies Department

## Anthropomorphic dental robot in practice-oriented education: prospects for improvement

**Annotation.** The article provides an overview of current developments in the field of anthropomorphic dental robots and their application in practice-oriented education. The aim of the study is to assess the physical and functional aspects of robot anthropomorphism, their impact on the psychometric characteristics of students, and to analyze the prospects for the development of these technologies. The paper examines key components of anthropomorphic robots, such as motion sensors, emotion recognition and speech synthesis systems, as well as the potential for using cloud technologies to enhance the efficiency of the educational process. The results demonstrate that anthropomorphic robots contribute to the improvement of educational methods, deepen understanding of the material, and foster the development of professional skills in students. However, technological challenges requiring further research were noted, including improving the realism of movements, voice interaction, and the integration of sensory systems. It is anticipated that further development of data processing technologies and cloud services will contribute to the creation of more interactive and adaptive educational platforms, enhancing student engagement and satisfaction.

**Key words:** anthropomorphism, educational technology, robotics, dental education, simulation training

### FOR CITATION:

Kharakh Y.N., Yuzhakov A.A., Baydarov A.A., Astashina N.B., Arutyunov S.D. Anthropomorphic dental robot in practice-oriented education: prospects for improvement. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2024; 27 (4): 61—69 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X\_2024\_4\_61

<sup>1</sup> Russian University of Medicine, 127006, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Perm National Research Polytechnic University, 614990, Perm, Russia

<sup>3</sup> Perm State Medical University, 614000, Perm, Russia

## ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие технологий привело к тому, что студенты сталкиваются с увеличением объема информации, необходимой для профессионального становления. Исследования показывают, что недостаток практических навыков у молодых специалистов значительно влияет на их трудоустройство, что связано с ростом требований к образовательным программам [1]. В условиях, когда сроки обучения, установленные федеральными государственными образовательными стандартами (ФГОС), остаются неизменными, а объем содержания программ значительно увеличивается, возникает необходимость в интенсификации учебного процесса. Внедрение интенсивных образовательных методик может повысить качество обучения студентов до 94% [2].

Традиционные методы преподавания постепенно уступают место новым, более интерактивным и адаптивным подходам к обучению, особенно в подготовке медицинских кадров, где требуется использование симуляторов и тренажеров. Исследования показывают, что традиционная практика под надзором наставника по своей эффективности сопоставима с симуляционной подготовкой. Например, после обучения в обеих группах участников наблюдалось значительное улучшение профессиональных навыков: производительность участников улучшилась на 78,3% в группе без наставника и на 86,4% в группе под руководством проектора. Тем не менее статистически значимой разницы между методами обучения не выявлено, что подтверждает их равную эффективность [3].

В этом контексте робототехника становится неотъемлемой составляющей образовательного процесса, предоставляя уникальные возможности для стимулирования познавательной активности студентов и углубления их понимания учебного материала [4, 5].

Одним из ключевых факторов, подталкивающих образовательные учреждения к активному внедрению робототехники, является увеличение объема и потока информации, которую необходимо усваивать обучающимся и преподавателям. Робототехника предлагает новые педагогические стратегии и инструменты, способствующие более глубокому и интерактивному усвоению знаний. Метаанализ показал, что использование образовательных роботов оказывает умеренно положительное влияние на учебные результаты (средний эффект 0,57 стандартных отклонений) с наибольшим эффектом среди учащихся средней и высшей школы [6].

Роботы, особенно те, которые используются в образовательном процессе, представляют собой сложные программно-аппаратные системы, включающие физическую оболочку, датчиковую систему, программы и алгоритмы, определяющие поведение и функциональность робота, методы взаимодействия с пользователем (голосовые команды, сенсорные экраны, джойстики и др.), VR-компоненты, а также поддержку облачных технологий для сбора данных, обработки информации и удаленного управления роботом. Проанализировать вклад каждого компонента в конечную образовательную эффективность интересно и полезно. Это позволит

выявить достижения и проблемы в области разработки обучающих роботов и определить приоритетные направления их дальнейшего улучшения.

Таким образом, цель настоящего обзора состоит в оценке современного состояния робототехники, предназначенной для образовательного процесса, в частности физические и функциональные аспекты роботов, их влияние на психометрические характеристики обучающихся, а также практическое применение и перспективы развития образовательных роботов.

## 1. ФИЗИЧЕСКИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ АНТРОПОМОРФНОСТИ

Под антропоморфизмом подразумевают психологический процесс присвоения человеческих качеств неодушевленным объектам. В контексте робототехники антропоморфными называют роботы, которые обладают характеристиками, наиболее схожими с человеческими, такими как имитация жестов, мимики и голосовых реакций. Это делает их более «человечными» и способствует созданию более естественного взаимодействия с пользователями. Роботы, обладающие такими чертами, могут помочь учащимся лучше вовлекаться в учебный процесс и моделировать реальные сценарии, что будет способствовать повышению качества освоения профессиональных навыков [7–9].

Нередко в отношении роботов используют термин «гуманоидный». Однако он отражает лишь общую схожесть с человеческим обликом, но не степень «человечности» его физической оболочки и функциональности, обеспечивающей имитацию человеческого поведения. Так, гуманоидные роботы всегда будут напоминать по форме человеческое тело, но не будут обладать антропоморфными чертами в поведении или взаимодействии. Таким образом, несмотря на схожесть терминов суть антропоморфности заключается в том, как робот воспринимается наблюдателем (человеком), а гуманоидность — просто физическое сходство роботов с человеком [10].

### 1.1. Внешний вид робота

Внешний вид робота оказывает значительное влияние на его восприятие обучающимися. Исследования показывают, что роботы антропоморфного типа получили среднюю оценку восприятия внешнего вида в 3,78 балла из 5 возможных, что свидетельствует о положительном восприятии их внешности [11]. В другом исследовании 64% студентов отметили улучшение своих творческих способностей после работы с роботами, что подчеркивает важность эстетики и взаимодействия роботов в образовательном процессе [12]. Реалистичные пропорции и черты лица, схожие с человеческим, вызывают у обучающихся больше доверия и комфорта, упрощая их адаптацию к антропоморфным роботам. Антропоморфные черты помогают создать более естественные условия взаимодействия, способствуя лучшему восприятию робота и его функций в образовательном процессе [13, 14]. Согласно исследованиям, такой дизайн улучшает интерактивность и способен вызвать

у пользователей эмоциональную реакцию, сравнимую с реакцией на общение с живым человеком [15].

В образовательной среде реалистичные роботы могут способствовать развитию эмпатии у обучающихся, особенно в таких областях, как медицинское обучение, где роботы-пациенты помогают подготовиться к реальной клинической практике. Такое обучение развивает не только профессиональные умения и навыки, но и эмоциональную чуткость [16].

Интересным представляется эффект «зловещей долины», описанный М. Моги, который возникает, когда роботы становятся слишком похожи на людей, но все равно воспринимаются как искусственные, в результате чего вместо ожидаемой эмпатии или положительного восприятия такие роботы вызывают чувство тревоги и отторжения [17]. Данный эффект проявляется, когда робот выглядит и движется почти как человек, но все же имеет заметные неестественные несоответствия, особенно в движении или мимике [18]. Это определяет необходимость нахождения баланса между реалистичностью и антропоморфизмом при проектировании роботов для образовательных целей.

Таким образом, внешний вид робота имеет решающее значение для его успешного восприятия и взаимодействия с обучающимися, тем не менее при разработке антропоморфного робота особое внимание следует уделять синергии его физической оболочки и возможностей программно-аппаратного комплекса (в части невербальных функций), дисгармония которых может привести к резкому снижению эффективности обучающего процесса.

## 1.2. Датчики в образовательных роботах

Датчики важны как для обеспечения антропоморфности, так и для образовательного процесса, — это ключевой элемент образовательных роботов, предоставляющий им возможность взаимодействовать с окружающей средой и реагировать на действия людей [19].

В робототехнике для сбора данных и коррекции своего поведения в режиме реального времени применяется множество разнообразных датчиков (движения, давления, силы и температуры и т.п.), что обеспечивает интерактивность и правдоподобие образовательных сценариев [20].

Ультразвуковые, инфракрасные и лазерные датчики — основные элементы, которые измеряют расстояние до объектов и помогают роботу корректировать траекторию движения, избегая столкновений с окружающими объектами и обеспечивая безопасность, что особенно важно в образовательной среде для обеспечения безопасности обучающихся и предотвращения повреждения оборудования [21]. Однако ультразвуковые датчики (УЗД) не всегда могут быть применимы для их установки в антропоморфных роботах и применения в образовательных условиях ввиду их подверженности акустическим помехам (в том числе в шумных средах) и чувствительности к температуре и влажности, что может влиять на точность измерений [21, 22]. В этом отношении инфракрасные датчики (ИКД) более предпочтительны для установки в антропоморфных роботах,

так как они лишены недостатков УЗД, при этом ИКД обладают оптимальной для робототехники дальностью обнаружения объектов (от 20 до 150 см [23]), а также низким временем отклика [21, 24].

Интересным представляется возможность использования тепловизионных ИКД для распознавания эмоций посредством отслеживания частоты сердечных сокращений (ЧСС) и дыхания через измерение температурных колебаний на лице: для ЧСС — вокруг носа и лба, для дыхания — в области носа и рта при вдохе и выдохе [25].

В робототехнике также применяются лазерные технологии, такие как лидары (Light Detection and Ranging, LIDAR), главные отличия которых от ИКД состоят в большей дальности обнаружения и детализации окружающей среды. Тем не менее точности и скорости отклика лидара достаточно лишь для оценки телодвижений, но не для анализа мелких и быстрых движений лица — это ограничивает его использование в аспекте антропоморфизации робота [26]. Хотя, исходя из данных К. Ко и соавт. (2021), лидар обладает потенциалом для анализа выражений лица, что может быть использовано для определений эмоций, для картирования лица авторы использовали комбинацию технологий [27]. Применение лидара для анализа лица практически не представлено в научной литературе.

Гироскопы и акселерометры играют косвенную, но важную роль в антропоморфизации робота, обеспечивая его баланс, определение собственного положения в пространстве, а также точного и плавного выполнения движений, а их сочетанное применение позволяет создавать системы с шестью степенями свободы, что дает роботам возможность более точно воспринимать и реагировать на изменения в окружающей их среде [28]. Среди прочих, перспективной технологией являются МЭМС-гироскопы (Микроэлектромеханические системы), особенно при их интеграции с акселерометрами в один модуль IMU (Inertial Measurement Unit). Это позволяет достичь высокой эффективности и надежности: например, устойчивость по смещению для таких гироскопов составляет от 1° до 30° в час, что делает их пригодными для применения в промышленных и низкотактических условиях. При этом они остаются устойчивыми к внешним механическим воздействиям и вибрациям, обеспечивая высокую производительность при относительно низкой стоимости по сравнению с аналогичными технологиями [29].

Для высокоточного распознавания жестов и мимики применяют технологии обнаружения и интерпретации движений и выражений лица, сочетающие в себе камеры (датчики) и алгоритмы компьютерной обработки. Благодаря этому роботы могут более точно реагировать на поведение обучающихся и адаптировать свое поведение в реальном времени, что значимо в аспекте антропоморфности. Камеры могут определять направление взгляда обучающихся, помогая зарегистрировать работу, на что именно обращает внимание объект в данный момент. Это полезно для учебных сценариев, где важно следить за вниманием и фокусом обучающихся.

Анализ мимики позволяет роботам оценить эмоциональное состояние обучающихся для адаптации и оптимизации образовательного процесса в зависимости от их уровня вовлеченности и эмоционального комфорта. Для решения данных задач существует два основных типа оптических датчиков: RGB и RGB-D, которые фиксируют цветное изображение, используя три канала (красный, зеленый и синий). Отличие RGB-D-датчиков заключается в их большей функциональности за счет наличия датчика глубины, получающего информацию о расстоянии с помощью инфракрасных лучей или технологии времени пролета (Time-of-Flight, ToF), что позволяет создавать трехмерные карты и определять положение объектов в пространстве. Таким образом, RGB-D-датчики являются более функциональными для задач робототехники и систем дополненной реальности.

С помощью сочетания технологии RGB-D-камер и 3D-сверточных нейронных сетей D.S. Tran и соавт. (2020) удалось достигнуть 97-процентной точности распознавания жестов [30]. Согласно данным литературы, наиболее перспективной технологией для обработки данных мимического анализа являются глубокие сверточные нейронные сети, в направлении которой активно ведутся разработки, позволяющие эффективно распознавать выражения лиц в реальном времени [31–33].

В рамках практико-ориентированного образования особенно интересны тактильные датчики, представляющие возможность организации реалистичной обратной связи на тактильные прикосновения студента-медика. Применение тактильных датчиков в стоматологических антропоморфных роботах, особенно их интеграция в искусственную кожу лица, позволило бы обучать правильному позиционированию рук обучающихся, а также контролю их силы и давления при стоматологических манипуляциях. Исследования показывают, что использование таких технологий может сократить время выполнения манипуляций с 46 до 33 минут, а также повысить качество выполнения на 33% по балльной системе (с 9,1 до 12,1 балла) [34]. В данном направлении активно ведутся научные поиски и разработка «электронной искусственной кожи» для роботов, в том числе медицинских фантомов, единовременно отвечающей требованиям стабильности и долговечности материалов, простоты интеграции электронных компонентов и возможности массового коммерческого применения [35]. Однако, несмотря на значительные успехи в разработке электронной искусственной кожи, остаются нерешенными множество технических и производственных задач.

В современной робототехнике применяются химические газовые датчики для имитации человеческого обоняния. Эти датчики в совокупности с другими сенсорами, например оптическими, значительно увеличивают объем регистрируемой роботом информации из окружающей среды, расширяя вариабельность образовательных сценариев. Согласно исследованиям, применение датчиков обоняния в сочетании с визуальными сенсорами может сократить время поиска целевого объекта на 30–54% по сравнению с использованием только одного типа сенсоров [36].

### 1.3. Движение

Как уже упоминалось выше, движения робота играют ключевую роль в степени его антропоморфизации, так как именно плавные и естественные движения способствуют эффективному взаимодействию с обучающимися, однако это является непростой технической задачей. Плавное движение требует точной координации и синхронизации всех суставов и приводов робота, для чего необходим соответствующий комплексный программный алгоритм управления. Согласно исследованиям, наилучшие результаты достигаются с помощью моделей предсказательного управления (Model Predictive Control, MPC) [37], основанных на математической модели для предсказания будущего поведения и выбора оптимальных управляющих воздействий системы, а также современных методов группового управления [38], необходимых для координации работы нескольких частей робота и достижения плавности при движении робота.

### 1.4. Вербальная коммуникация

Алгоритм организации вербального общения у роботов включает аппаратные и программные компоненты, которые обеспечивают получение, обработку, синтез и воспроизведение информации.

С аппаратной точки зрения основные компоненты для голосового взаимодействия включают высокочувствительные микрофоны для захвата речи пользователя, динамики для воспроизведения синтезированной речи робота, а также процессоры и микроконтроллеры, обеспечивающие обработку аудиосигналов в реальном времени. Широкое распространение этих компонентов делает их доступными и легко интегрируемыми робототехническими системами.

Организация микрофонов в робототехнике требует учета различных факторов для обеспечения качественного захвата речи и шумоподавления; для этого применяется технология «формирования луча» (beamforming), которая с помощью массивов микрофонов, размещенных в разных частях робота, позволяет выделять нужные звуковые сигналы и эффективно подавлять шум [39, 40]. Оптимальными типами микрофонов для их интеграции в робота являются конденсаторные микрофоны — благодаря их высокой чувствительности и широкому диапазону частот, обеспечивающих регистрацию тонких нюансов речи, а также динамические микрофоны, устойчивых к шумам и вибрациям, что также важно в условиях образовательной среды [41, 42]. Полученный микрофонами сигнал подвергается предварительной обработке, в ходе которой исключаются эхо и шумы, а также происходит преобразование аналогового сигнала в цифровой. Предварительная обработка не является технологией специфической для робототехники, в связи с чем она не сопряжена со сложностью реализации.

Важной в отношении антропоморфности робота является этап распознавания речи, в процессе которого робот «понимает» и интерпретирует полученные голосовые команды. Современные системы распознавания речи используют алгоритмы машинного обучения, в частности глубокого обучения, позволяющего обрабатывать неструктурированные данные, которые

не имеют фиксированной схемы или формата (текстовые документы, аудиозаписи, видеофайлы, изображения и т.п.). В основе этого процесса лежит процесс обработки естественного языка, или нейролингвистическое программирование, который играет важную роль в улучшении образовательного процесса за счет достижения адаптивности, интерактивности и персонализации обучения [43]. На основании данных F.M. Shirи и соавт. (2023), проанализировавших различные модели глубокого обучения, можно сделать вывод, что для обеспечения вербальной составляющей общения обучающихся с роботом (например, при сборе анамнеза) лучше всего подойдут рекуррентные модели, такие как долгосрочная и краткосрочная память (LSTM) или управляемый рекуррентный блок (GRU), так как они хорошо работают с последовательными данными и способны учитывать контекст и последовательность слов, а сверточные нейронные сети (CNN) подходят для анализа изображений (например, анализ практической деятельности студента по препарированию зуба) [44, 45]. Однако архитектура представленных моделей может повлиять на скорость реакции робота из-за последовательного механизма обработки данных, в связи с чем более интересными и перспективными представляются модели-трансформеры, такие как Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT), Generative Pre-trained Transformer (GPT) для речевого анализа и Detection Transformer (DETR) и Vision Transformer (ViT) для визуального анализа изображений (компьютерное зрение), которые обладают значительно большей производительностью и результативностью [46].

Другой крайне важный аппаратный компонент, необходимый для достижения антропоморфности, — обеспечение реалистичности голоса робота, которое во многом зависит от качества динамиков и технологии синтеза речи. Динамики должны воспроизводить широкий диапазон частот, чтобы голос робота звучал естественно, детально и легко распознавался, а также обеспечивал передачу эмоций. Для передачи всех необходимых характеристик голоса (высота тона, громкость, качество) и реалистичного звучания динамики должны воспроизводить широкий спектр частот, охватывающий основные акустические резонансы голосового тракта [47].

Сегодня для синтезирования и воспроизведения искусственного голоса используют нейронные сети, наиболее передовыми являются Tacotron (Google LLC, США) и WaveNet (DeepMind Technologies Limited, Великобритания). Отличительной особенностью нейронной сети Tacotron является баланс между качеством речи и требуемыми вычислительными ресурсами. Нейронная сеть WaveNet, хотя и является более ресурсоемкой, обеспечивает качество речи, максимально приближенное к человеческой, что делает ее предпочтительной для реализации в антропоморфных роботах [48]. Однако, учитывая неравномерность технологических достижений в различных аспектах антропоморфности, на сегодняшний день оптимальным может быть использование модели Tacotron для нивелирования разрыва между технологичностью и антропоморфностью, а также для уменьшения эффекта «зловещей долины».

## 1.5. Использование облачных технологий

Облачные технологии крайне важны в образовательных роботах, поскольку они могут расширить функциональные возможности и повысить эффективность за счет перераспределения вычислительных задач. Исследования показывают, что такие технологии позволяют сократить время обработки данных и улучшить взаимодействие между роботами, значительно снижая время выполнения сложных задач и улучшая производительность в образовательной среде [49]. Возможность сбора и анализа данных с обучающих роботов об опыте общения, о практической деятельности (например, препарирование зубов) и об успеваемости позволит улучшить алгоритмы робототехнической системы, а также скорректировать образовательный процесс, основываясь на наиболее эффективных выявленных подходах [50, 51].

Однако облачные технологии являются не только инструментом взаимосвязи роботов, но и основой формирования образовательных платформ, в рамках которых робот представляет собой не самостоятельную систему, а киберфизическую единицу. Эти образовательные платформы широко распространены, поскольку предлагают большой набор образовательных инструментов как для обучения, так и для контроля знаний, что можно использовать для усовершенствования образовательных роботов [52, 53]. Тем не менее преимущество большого числа образовательных платформ имеет также технический недостаток, который выражается в закрытости экосистем этих платформ, что усложняет их взаимосвязь и, как следствие, приводит к разрозненности накопленных данных, необходимых для обучения моделей искусственного интеллекта [54]. Закрытость той или иной системы является проблемой интероперабельности, она возникает вследствие специфических стилей программирования и политик управления данными провайдеров, затрудняя миграцию и интеграцию данных между платформами [55]. В рамках развития концепции интероперабельности R. Rezaei и соавт. (2014) предложили 4 требования, выполнение которых должно способствовать взаимной интеграции различных платформ: техническая интероперабельность — способность различных систем обмениваться данными; синтаксическая интероперабельность — совместимость форматов данных; семантическая интероперабельность — совместимость значений данных; организационная интероперабельность — способность различных организаций работать вместе [56]. Немало научных публикаций поднимает вопрос эффективности образования при использовании множества платформ в связи с необходимостью адаптации к ним как обучающихся, так и преподавателей [57–60].

Дополнительное преимущество разработки облачной инфраструктуры заключается в возможности удаленного доступа как к самому роботу, так и к ресурсам образовательной платформы, что в рамках ролевой модели медицинского образования может быть использовано для расширения интерактивности и реалистичности поведения робота как пациента: например сценарий, при котором у робота возникает отсроченное осложнение после лечения зуба, о которых он сообщает,

в частности, студенту-стоматологу посредством мессенджера, уже вне занятия. Использование образовательной платформы с искусственным интеллектом повышает заинтересованность и активность обучающихся в любое время суток, что подтверждает возможность подобного размытия временных образовательных рамок [53].

## 2. ПСИХОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С РОБОТАМИ

Антропоморфность неживых объектов вызывает эмпатическую реакцию [61]. Это было подтверждено в эксперименте Y. Suzuki и соавт. (2015), основанном на результатах электроэнцефалографии [62]. Представленные данные важны в аспекте немалочисленных научных сообщений, свидетельствующих о низком уровне эмпатических способностей у студентов медицинского вуза, развитие которых относится к одной из задач их профессионального становления [63–65]. При этом K.C. Fragkos и соавт. (2020) на основе собственного систематического обзора и метаанализа сделали вывод об эффективности мероприятий, направленных на развитие клинической эмпатии у студентов медицинских учреждений, что определяет перспективность решения данной проблемы [66]. Однако отсутствие четкого определения термина «эмпатия» и ясного механизма его формирования не позволяет выработать специфический способ тренировки эмпатии у студентов-медиков [67, 68]. В связи с этим мероприятия, направленные на развитие эмпатических способностей, должны иметь комплексный характер и включать различные интерактивные подходы, такие как ролевое взаимодействие студентов и использование симуляторов [69–71]. Однако студенты в роли пациентов не всегда способны оперативно и эффективно адаптироваться к новым ролям и задачам, в отличие от роботов, которые могут быть запрограммированы для выполнения различных сценариев и адаптации к изменяющимся условиям [14]. Помимо прочего, взаимодействие между студентами может зависеть от их личных отношений и эмоциональных состояний, что может влиять на полноценность и эффективность ролевого обучающего процесса [72].

В связи с этим, по данным некоторых авторов, появляется дополнительный фактор антропоморфизма — поведенческий, обусловленный технической возможностью реализации вербальных и невербальных функций (движения, общение и т.д.) [73, 74]. S. Park и соавт. (2022) выделили 3 типа роботов, различающихся по комплексности эмпатического процесса, где ключевыми факторами, по мнению авторов, выступали [75]:

- 1) специализированность, т.е. привязанность к конкретной предметной области (например, образовательные роботы);
- 2) высокоорганизованная мультимодальность — адекватное вербальные и невербальные действия робота — согласованные движения, визуальный контакт, реакция на прикосновение и т.п.;
- 3) модуляция эмпатии — адаптация робота под собеседника (человека) через распознавание его эмоционального состояния, контекста беседы или

ситуации и т. п. с целью оказания влияния на взаимоотношения с ним (например, для установки доверительных отношений).

Однако сами авторы заключают, что полная реализация выделенных ими факторов — скорее направление для будущего развития антропоморфных роботов. Так, например, реализация, высокоорганизованной мультимодальности требует технического оснащения роботов для выполнения точных и обдуманных действий при соответствующей скорости реакции, что на сегодняшний день пока труднодостижимо [76, 77].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие антропоморфных роботов в практико-ориентированном образовании предоставляет уникальные возможности для совершенствования образовательных методик. Эти роботы способствуют углублению понимания учебного материала, развивают профессиональные навыки и эмоциональную чуткость у студентов. Современные технологии, такие как датчики движения, синтез речи и обработка естественного языка, значительно улучшили функциональность образовательных роботов, делая их взаимодействие с обучающимися более естественным и эффективным.

Однако, несмотря на значительные достижения, существует множество технологических вызовов, таких как обеспечение плавности движений, реалистичности голосового взаимодействия и интеграции различных сенсорных систем. Решение этих задач требует продолжения научных исследований и разработки новых методик, что позволит еще больше повысить образовательную ценность антропоморфных роботов и их адаптивность к индивидуальным потребностям студентов.

Перспективы развития в этом направлении включают улучшение технологий обработки данных, синтеза речи и сенсорных систем, а также интеграцию облачных технологий для расширения функциональных возможностей и повышения эффективности образовательного процесса. Эти усилия будут способствовать созданию более интерактивных и адаптивных образовательных роботов, способных поддерживать высокий уровень вовлеченности и удовлетворенности обучающихся. Помимо этого, разработки и прогресс в области робототехники и искусственного интеллекта представляются масштабируемыми и в другие сферы здравоохранения, особенно в те, где необходимы высокие навыки коммуникации между врачом и пациентом. Так, антропоморфные роботы могут стать важным элементом в практике паллиативной медицины, где эффективная коммуникация играет ключевую роль в оказании качественной помощи и повышении удовлетворенности пациентов [78, 79].

Таким образом, антропоморфные роботы становятся важным элементом не только современного образования, но и практического здравоохранения, предоставляя студентам и медицинским работникам уникальные возможности для обучения и практики в безопасной и контролируемой среде. Они позволяют многократно отрабатывать различные процедуры, минимизируя риск ошибок и повышая уверенность в своих навыках.

С развитием технологий и преодолением существующих вызовов эти роботы будут играть все более значимую роль в подготовке высококвалифицированных специалистов и обеспечении высокого уровня медицинской помощи в реальных условиях.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Пермского научно-образовательного центра «Рациональное недропользование» (проект «Новые материалы и технологии для медицины», 2024 г.).

#### FUNDING

The work was carried out with the financial support of the Perm Scientific and Educational Centre "Rational Subsoil Use" (project "New Materials and Technologies for Medicine", 2024).

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

**Поступила:** 31.05.2024 **Принята в печать:** 22.10.2024

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.  
**Received:** 31.05.2024 **Accepted:** 22.10.2024

#### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Присяжная Н.В., Вяткина Н.Ю. Трудоустройство молодого медицинского специалиста: уровни проявления проблемы. — *Вестник Института социологии*. — 2023; 1: 101—114.  
 [Prisyazhnaya N.V., Vyatkina N.Yu. Employment of a young medical specialist: levels of manifestation of the problem. — *Bulletin of the Institute of Sociology*. — 2023; 1: 101—114 (In Russian)]. [eLibrary ID: 50501092](#)
2. Головкина М.В. Проблемы интенсификации обучения студентов технических вузов при изучении естественно-научных дисциплин. — *Международный журнал экспериментального образования*. — 2021; 1: 31—36.  
 [Golovkina M.V. Problems of learning intensification in education students of technical universities in studying natural sciences. — *International Journal of Experimental Education*. — 2021; 1: 31—36 (In Russian)]. [eLibrary ID: 44804949](#)
3. Beulens A.J.W., et al. Training novice robot surgeons: Proctoring provides same results as simulator-generated guidance. — *J Robot Surg.* — 2021; 15 (3): 397—428. [PMID: 32651769](#)
4. Каграмян И.Н., Тарасенко А.И., Купеева И.А., Янушевич О.О., Пашков К.А., Ефимова А.О. Исторические аспекты трансформации системы медицинского образования. — *Национальное здравоохранение*. — 2021; 1: 32—40.  
 [Kagramanyan I.N., Tarasenko A.I., Kupeeva I.A., Yanushevich O.O., Pashkov K.A., Efimov A.O. Historical aspects of the medical education system transformation. — *National Health Care (Russia)*. — 2021; 1: 32—40 (In Russian)]. [eLibrary ID: 46648535](#)
5. Янушевич О.О., Ташкинов А.А., Минаева Н.В., Арутюнов С.Д., Асташина Н.Б., Байдаров А.А., Безукладников И.И., Южаков А.А. 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., Baydarov A., Bezukladnikov I., Yuzhakov A. Dental anthropomorphic robot. A new era in imitation of medical manipulation and clinical admission. — *Cathedra. Dental education*. — 2021; 78: 64—67 (In Russian)]. [eLibrary ID: 48219409](#)
6. Wang K., et al. The effectiveness of educational robots in improving learning outcomes: A meta-analysis. — *Sustainability*. — 2023; 15 (5): 4637. [DOI: 10.3390/su15054637](#)
7. Асташина Н.Б., Байдаров А.А., Арутюнов С.Д., Южаков А.А., Кокоулин А.Н., Валихметова К.Р., Майоров П.В., Шамарина А.М., Лазарьков П.В., Вронский А.С., Харах Я.Н. Разработка комплекса «Антропоморфный стоматологический робот» с элементами искусственного интеллекта для имитации врачебных манипуляций и коммуникации «Врач — пациент». — *Пермский медицинский журнал*. — 2022; 6: 62—70.  
 [Astashina N.B., Baydarov A.A., Arutyunov S.D., Yuzhakov A.A., Kokoulin A.N., Valikhmetova K.R., Mayorov P.V., Shamarina A.M., Lazarkov P.V., Vronsky A.S., Kharakh Ya.N. Development of "artificial intellect based dental android system" for simulation of medical manipulations and doctor-patient communication. — *Perm Medical Journal*. — 2022; 6: 62—70 (In Russian)]. [eLibrary ID: 50094348](#)
8. Epley N., Waytz A., Cacioppo J.T. On seeing human: a three-factor theory of anthropomorphism. — *Psychol Rev.* — 2007; 114 (4): 864—86. [PMID: 17907867](#)
9. Epley N., Waytz A., Akalis S., Cacioppo J.T. When we need a human: Motivational determinants of anthropomorphism. — *Social Cognition*. — 2008; 26 (2): 143—155. [DOI: 10.1521/soco.2008.26.2.143](#)
10. Ishiguro H. Android science: conscious and subconscious recognition. — *Connection Science*. — 2006; 18 (4): 319—332. [DOI: 10.1080/09540090600873953](#)
11. Gan Y., et al. Integrating aesthetic and emotional preferences in social robot design: An affective design approach with Kansei Engineering and Deep Convolutional Generative Adversarial Network. — *International Journal of Industrial Ergonomics*. — 2021; 83: 103128. [DOI: 10.1016/j.ergon.2021.103128](#)
12. Gubenko A., Kirsch C., Smilek J.N., Lubart T., Houssemann C. Educational robotics and robot creativity: An interdisciplinary dialogue. — *Front Robot AI*. — 2021; 8: 662030. [PMID: 34222352](#)
13. Seo K., Tang J., Roll I., Fels S., Yoon D. The impact of artificial intelligence on learner-instructor interaction in online learning. — *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. — 2021; 18 (1): 54. [PMID: 34778540](#)
14. Wang W., Chen Y., Li R., Jia Y. Learning and comfort in human—robot interaction: A review. — *Applied Sciences*. — 2019; 9 (23): 5152. [DOI: 10.3390/app9235152](#)
15. Podpečan V. Can you dance? A study of child—robot interaction and emotional response using the NAO robot. — *Multimodal Technologies and Interaction*. — 2023; 7 (9): 85. [DOI: 10.3390/mti7090085](#)
16. Yu C.C., et al. The development of empathy in the healthcare setting: a qualitative approach. — *BMC Med Educ*. — 2022; 22 (1): 245. [PMID: 35379249](#)
17. Mori M., MacDorman K.F., Kageki N. The uncanny valley [From the Field]. — *IEEE Robotics & Automation Magazine*. — 2012; 19 (2): 98—100. [DOI: 10.1109/MRA.2012.2192811](#)
18. MacDorman K.F., Ishiguro H. The uncanny advantage of using androids in cognitive and social science research. — *Interaction Studies. Social Behaviour and Communication in Biological and Artificial Systems*. — 2006; 7 (3): 297—337. [DOI: 10.1075/is.7.3.03mac](#)

19. Арутюнов С.Д., Южаков А.А., Харах Я.Н., Безукладников И.И., Байдаров А.А., Асташина Н.Б. Стоматологический симулятор на базе робототехнического комплекса с интегрированной смарт-челюстью. — *Российский стоматологический журнал*. — 2023; 1: 63—70.  
[Arutyunov S.D., Yuzhakov A.A., Kharakh Y.N., Bezukladnikov I.I., Baidarov A.A., Astashina N.B. Dental simulator based on a robotic complex with an integrated smart jaw. — *Russian Journal of Dentistry*. — 2023; 1: 63—70 (In Russian)]. [eLibrary ID: 54023292](#)
20. Schiavo F., et al. Educational robots, emotion recognition and ASD: New horizon in special education. — *Education Sciences*. — 2024; 14 (3): 258. [DOI: 10.3390/educsci14030258](#)
21. Liu Y., Wang S., Xie Y., Xiong T., Wu M. A review of sensing technologies for indoor autonomous mobile robots. — *Sensors (Basel)*. — 2024; 24 (4): 1222. [PMID: 38400380](#)
22. Rosique F., Navarro P.J., Fernández C., Padilla A. A systematic review of perception system and simulators for autonomous vehicles research. — *Sensors (Basel)*. — 2019; 19 (3): 648. [PMID: 30764486](#)
23. Do Y., Kim J. Infrared range sensor array for 3D sensing in robotic applications. — *International Journal of Advanced Robotic Systems*. — 2013; 10 (4). [DOI: 10.5772/55896](#)
24. Papagianopoulos I., et al. Obstacle detection in infrared navigation for blind people and mobile robots. — *Sensors (Basel)*. — 2023; 23 (16): 7198. [PMID: 37631734](#)
25. Filippini C., Perpetuini D., Cardone D., Chiarelli A.M., Merla A. Thermal infrared imaging-based affective computing and its application to facilitate human robot interaction: A review. — *Applied Sciences*. — 2020; 10 (8): 2924. [DOI: 10.3390/app10082924](#)
26. Gómez J., Aycard O., Baber J. Efficient detection and tracking of human using 3D LiDAR sensor. — *Sensors (Basel)*. — 2023; 23 (10): 4720. [PMID: 37430633](#)
27. Ko K., Gwak H., Thoummala N., Kwon H., Kim S. SqueezeFace: Integrative face recognition methods with LiDAR sensors. — *Journal of Sensors*. — 2021; 4312245. [DOI: 10.1155/2021/4312245](#)
28. Jalal A., et al. A study of accelerometer and gyroscope measurements in physical life-log activities detection systems. — *Sensors (Basel)*. — 2020; 20 (22): 6670. [PMID: 33233412](#)
29. Passaro V.M.N., et al. Gyroscope technology and applications: A review in the industrial perspective. — *Sensors (Basel)*. — 2017; 17 (10): 2284. [PMID: 28991175](#)
30. Tran D.S., et al. Real-time hand gesture spotting and recognition using RGB-D camera and 3D convolutional neural network. — *Applied Sciences*. — 2020; 10 (2): 722. [DOI: 10.3390/app10020722](#)
31. Fang B., Zhao Y., Han G., He J. Expression-guided deep joint learning for facial expression recognition. — *Sensors (Basel)*. — 2023; 23 (16): 7148. [PMID: 37631685](#)
32. Lawpanom R., Songpan W., Kaewyotha J. Advancing facial expression recognition in online learning education using a homogeneous ensemble convolutional neural network approach. — *Applied Sciences*. — 2024; 14 (3): 1156. [DOI: 10.3390/app14031156](#)
33. Pham T.D., et al. CNN-based facial expression recognition with simultaneous consideration of inter-class and intra-class variations. — *Sensors (Basel)*. — 2023; 23 (24): 9658. [PMID: 38139503](#)
34. Farag A., Hashem D. Impact of the haptic virtual reality simulator on dental students' psychomotor skills in preclinical operative dentistry. — *Clin Pract*. — 2021; 12 (1): 17—26. [PMID: 35076504](#)
35. Paternò L., Lorenzon L. Soft robotics in wearable and implantable medical applications: Translational challenges and future outlooks. — *Front Robot AI*. — 2023; 10: 1075634. [PMID: 36845334](#)
36. Hassan S., Wang L., Mahmud K.R. Robotic odor source localization via vision and olfaction fusion navigation algorithm. — *Sensors (Basel)*. — 2024; 24 (7): 2309. [PMID: 38610520](#)
37. Ye N., Wang D., Dai Y. Enhancing autonomous vehicle lateral control: A linear complementarity model-predictive control approach. — *Applied Sciences*. — 2023; 13: 10809. [DOI: 10.3390/app131910809](#)
38. Корепанов В.О., Новиков Д.А. Метод рефлексивных разбиений в моделях группового поведения и управления. — *Проблемы управления*. — 2011; 1: 21—32.  
[Korepanov V.O., Novikov D.A. Reflexive partitionings method in the models of collective behaviour and control. — *Control Sciences*. — 2011; 1: 21—32 (In Russian)]. [eLibrary ID: 15552782](#)
39. Ali R., et al. An integrated MVDR beamformer for speech enhancement using a local microphone array and external microphones. — *EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing*. — 2021; 10 (2021). [DOI: 10.1186/s13636-020-00192-2](#)
40. Da Silva B., Braeken A., Touhafi A. FPGA-based architectures for acoustic beamforming with microphone arrays: Trends, challenges and research opportunities. — *Computers*. — 2018; 7 (3): 41. [DOI: 10.3390/computers7030041](#)
41. Kisenwether J.S., Sataloff R.T. The effect of microphone type on acoustical measures of synthesized vowels. — *J Voice*. — 2015; 29 (5): 548—51. [PMID: 25998411](#)
42. Svec J.G., Granqvist S. Guidelines for selecting microphones for human voice production research. — *Am J Speech Lang Pathol*. — 2010; 19 (4): 356—68. [PMID: 20601621](#)
43. Younis H.A., et al. A systematic literature review on the applications of robots and natural language processing in education. — *Electronics*. — 2023; 12 (13): 2864. [DOI: 10.3390/electronics12132864](#)
44. Shiri F.M., et al. A comprehensive overview and comparative analysis on deep learning models: CNN, RNN, LSTM, GRU. — *arXiv preprint*. — 2023; 2305.17473. [DOI: 10.48550/arXiv.2305.17473](#)
45. Южаков А.А., Арутюнов С.Д., Асташина Н.Б., Байдаров А.А., Безукладников И.И., Сторожев С.А. Разработка антропоморфного стоматологического симулятора на базе робота Robo-C. — *Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова*. — 2023; 4: 13—22.  
[Yuzhakov A.A., Arutyunov S.D., Astashina N.B., Baidarov A.A., Bezukladnikov I.I., Storozhev S.A. Development of an anthropomorphic dental simulator based on the Robo-C Robot. — *Bulletin of Kalashnikov ISTU*. — 2023; 4: 13—22 (In Russian)]. [eLibrary ID: 55862305](#)
46. Islam S., et al. A comprehensive survey on applications of transformers for deep learning tasks. — *Expert Systems with Applications*. — 2023; 122666. [DOI: 10.1016/j.eswa.2023.122666](#)
47. Zhang Z. Mechanics of human voice production and control. — *J Acoust Soc Am*. — 2016; 140 (4): 2614. [PMID: 27794319](#)
48. Boilard J., et al. A literature review of WaveNet: Theory, application, and optimization. — In: proceedings of the 146th Convention of the Audio Engineering Society. — Dublin, 2019. — Paper 10171.
49. Saha O., Dasgupta P. A comprehensive survey of recent trends in cloud robotics architectures and applications. — *Robotics*. — 2018; 7 (3): 47. [DOI: 10.3390/robotics7030047](#)
50. Afrin M., Jin J., Rahman A., Rahman A., Wan J., Hossain E. Resource allocation and service provisioning in multi-agent cloud robotics: A comprehensive survey. — *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. — 2021; 23 (2): 842—870. [DOI: 10.1109/COMST.2021.3061435](#)
51. Mangaroska K., Vesin B., Kostakos V., Brusilovsky P., Giannakos M.N. Architecting analytics across multiple e-learning systems to enhance learning design. — *IEEE*

- Transactions on Learning Technologies.* — 2021; 14 (2): 173—188. [DOI: 10.1109/TLT.2021.3072159](https://doi.org/10.1109/TLT.2021.3072159)
52. Арутюнов С.Д. и др. Интерактивная цифровая платформа и киберфизические системы медицинского образования. — *Пародонтология*. — 2022; 4: 318—326.
- [Arutyunov S.D., et al. Interactive digital platform and cyber-physical systems in medical education. — *Parodontologiya*. — 2022; 4: 318—326 (In Russian)]. [eLibrary ID: 50006339](#)
53. Govea J., et al. Optimization and scalability of educational platforms: Integration of artificial intelligence and cloud computing. — *Computers*. — 2023; 12 (11): 223. [DOI: 10.3390/computers12110223](https://doi.org/10.3390/computers12110223)
54. Nogueira E., Moreira A., Lucrédio D., Garcia V., Fortes R. Issues on developing interoperable cloud applications: definitions, concepts, approaches, requirements, characteristics and evaluation models. — *Journal of Software Engineering Research and Development*. — 2016; 4: 7. [DOI: 10.1186/s40411-016-0033-6](https://doi.org/10.1186/s40411-016-0033-6)
55. Naudet Y., Latour T., Guedria W., Chen D. Towards a systemic formalisation of interoperability. — *Computers in Industry*. — 2010; 61 (2): 176—185. [DOI: 10.1016/j.compind.2009.10.014](https://doi.org/10.1016/j.compind.2009.10.014)
56. Rezaei R., Chiew T.K., Lee S.P., Shams Aliee Z. Interoperability evaluation models: A systematic review. — *Computers in Industry*. — 2014; 65 (1): 1—23. [DOI: 10.1016/j.compind.2013.09.001](https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.09.001)
57. Abuhashna H., et al. Development of a new model on utilizing online learning platforms to improve students' academic achievements and satisfaction. — *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. — 2020; 17: 38. [DOI: 10.1186/s41239-020-00216-z](https://doi.org/10.1186/s41239-020-00216-z)
58. El-Sabagh H.A. Adaptive e-learning environment based on learning styles and its impact on development students' engagement. — *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. — 2021; 18: 53. [DOI: 10.1186/s41239-021-00289-4](https://doi.org/10.1186/s41239-021-00289-4)
59. Farrell O., Brunton J. A balancing act: a window into online student engagement experiences. — *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. — 2020; 17: 25. [DOI: 10.1186/s41239-020-00199-x](https://doi.org/10.1186/s41239-020-00199-x)
60. Noor U., et al. Learning behavior, digital platforms for learning and its impact on university students' motivations and knowledge development. — *Front Psychol*. — 2022; 13: 933974. [PMID: 36506979](#)
61. Schömbs S., Klein J., Roesler E. Feeling with a robot—the role of anthropomorphism by design and the tendency to anthropomorphize in human-robot interaction. — *Front Robot AI*. — 2023; 10: 1149601. [PMID: 37334072](#)
62. Suzuki Y., Galli L., Ikeda A., Itakura S., Kitazaki M. Measuring empathy for human and robot hand pain using electroencephalography. — *Sci Rep*. — 2015; 5: 15924. [PMID: 26525705](#)
63. Ветлужская М.В. и др. Особенности эмоционального интеллекта и эмпатических способностей у студентов медицинского вуза. — *Интеграция образования*. — 2019; 3 (96): 404—422.
- [Vetluzhskaya M.V., et al. Characteristics of Emotional Intelligence and Empathic Abilities in Medical Students. — *Integration of Education*. — 2019; 3 (96): 404—422 (In Russian)]. [eLibrary ID: 41041581](#)
64. Зорин К.В. Этико-деонтологическое воспитание и профессиональное развитие студентов-медиков: аспекты проблемы. — *Медицинское образование и профессиональное развитие*. — 2020; 3 (39): 187—193.
- [Zorin K.V. Ethical and deontological education and professional development of medical students: aspects of the problem. — *Medical Education and Professional Development*. — 2020; 3 (39): 187—193 (In Russian)]. [eLibrary ID: 44034339](#)
65. Кубекова А.С., Сергеева М.А. Связь эмпатии и личностных свойств у студентов медицинского университета. — *Мир науки. Педагогика и психология*. — 2022; 3: .
- [Kubekova A.S., Sergeeva M.A. Relationship of empathy level and personal properties in medical students. — *World of Science. Pedagogy and psychology*. — 2022; 3: (In Russian)]. [eLibrary ID: 49447208](#)
66. Fragkos K.C., Crampton P.E.S. The effectiveness of teaching clinical empathy to medical students: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. — *Acad Med*. — 2020; 95 (6): 947—957. [PMID: 31688037](#)
67. Fernandez A.V., Zahavi D. Basic empathy: Developing the concept of empathy from the ground up. — *Int J Nurs Stud*. — 2020; 110: 103695. [PMID: 32736251](#)
68. Laughey W.F., et al. Empathy in medical education: Its nature and nurture — a qualitative study of the views of students and tutors. — *Med Sci Educ*. — 2021; 31 (6): 1941—1950. [PMID: 34692227](#)
69. Bas-Sarmiento P., et al. Empathy training in health sciences: A systematic review. — *Nurse Educ Pract*. — 2020; 44: 102739. [PMID: 32220796](#)
70. Bearman M., Palermo C., Allen L.M., Williams B. Learning empathy through simulation: A systematic literature review. — *Simul Healthc*. — 2015; 10 (5): 308—19. [PMID: 2642651](#)
71. Chua J.Y.X., Ang E., Lau S.T.L., Shorey S. Effectiveness of simulation-based interventions at improving empathy among healthcare students: A systematic review and meta-analysis. — *Nurse Educ Today*. — 2021; 104: 105000. [PMID: 34146845](#)
72. Ekström S., Pareto L. The dual role of humanoid robots in education: As didactic tools and social actors. — *Education and Information Technologies*. — 2022; 27: 12609—12644. [DOI: 10.1007/s10639-022-11132-2](https://doi.org/10.1007/s10639-022-11132-2)
73. Kim J., Im I. Anthropomorphic response: Understanding interactions between humans and artificial intelligence agents. — *Computers in Human Behavior*. — 2023; 139: 107512. [DOI: 10.1016/j.chb.2022.107512](https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107512)
74. Середкина Е.В. Философские основания прикладного антропоморфизма в социальной робототехнике. — *Технологос*. — 2020; 4: 56—63.
- [Seredkina E.V. Philosophical foundations of applied anthropomorphism in social robotics. — *Technologos*. — 2020; 4: 56—63 (In Russian)]. [eLibrary ID: 44620409](#)
75. Park S., Whang M. Empathy in human-robot interaction: Designing for social robots. — *Int J Environ Res Public Health*. — 2022; 19 (3): 1889. [PMID: 35162909](#)
76. Wang T., Zheng P., Li S., Wang L. Multimodal human—robot interaction for human-centric smart manufacturing: A survey. — *Advanced Intelligent Systems*. — 2024; 6: 2300359. [DOI: 10.1002/aisy.202300359](https://doi.org/10.1002/aisy.202300359)
77. Su H., et al. Recent advancements in multimodal human-robot interaction. — *Front Neurorobot*. — 2023; 17: 1084000. [PMID: 37250671](#)
78. Новиков Г.А. и др. Проблема персонализированной коммуникации врач-пациент в паллиативной медицине. — *Паллиативная медицина и реабилитация*. — 2022; 4: 5—11.
- [Novikov G.A., et al. The problem of personalised doctor-patient communication in palliative medicine. — *Palliative Medicine and Rehabilitation*. — 2022; 4: 5—11 (In Russian)]. [eLibrary ID: 50108383](#)
79. Рашид М.А. и др. Практические аспекты персонализированной коммуникации врача-пациента в паллиативной медицине. — *Паллиативная медицина и реабилитация*. — 2023; 1: 5—14.
- [Rashid M.A., et al. Practical aspects of personalized doctor-patient communication in palliative medicine. — *Palliative Medicine and Rehabilitation*. — 2023; 1: 5—14 (In Russian)]. [eLibrary ID: 53837587](#)