ВОЗМОЖНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ И VR/AR В ФОРМИРОВАНИИ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ У ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РЕДКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ СИНДРОМА МАРФАНА)

Тастанова С.А.
Доктор философии по техническим наукам (PhD), Доцент, Телевизион и медиа технологии, Узбекистан, Ташкент
tasmaat@mail.ru
Научный руководитель
Тастанов М. С.
Архитектор, руководитель департамента программного обеспечения ГУ «Центр информационных технологий НА СЗ при Президенте РУз»
tasmaat@gmail.com
Азларова Р.Ш.
Магистр, Студент, Телевизион и медиа технологии, Узбекистан, Ташкент
studentx656@tuit.uz
Исматова З.А.
Магистр, Студент, Телевизион и медиа технологии, Узбекистан, Ташкент
Zamiraismatova7@gmail.com

Annotatsiya

Maqolada kam uçraydigan kasalliklarni taşxislaşni örgatişda diagnostik fikrlaşni rivojlantirişga qaratilgan, sun'iy intellekt, 3D-vizualizatsiya, VR/AR texnologiyalari va multimodal kanallarni (ovoz, dialog va imo-işoralar) birlaştiruvçi ta'lim muhiti modeli taklif etilgan. Marfan sindromi misolida muhit arxitekturasi, ta'lim jarayoni sikli, namoyiş ssenariysi va matematik modelning sodda varianti bayon etilgan. Uşbu matematik model asosida tizim ta'lim oluvçining xato turini aniqlaydi va keyingi ssenariyni tanlaydi. Model hali amalga oşirilmagan va tajriba-sinovdan ötkazilmagan; maqolada kelajakdagi tekşiruv uçun protokol keltirilgan.

Kalit sözlar: *kam uçraydigan kasalliklar, sun'iy intellekt, virtual reallik (VR), kengaytirilgan reallik (AR), 3D-vizualizatsiya, tibbiy ta'lim, adaptiv ta'lim, differensial taşxis.*

Аннотация

В статье предложена модель образовательной среды, объединяющая искусственный интеллект, 3D-визуализацию, VR/AR и мультимодальные каналы (звук, диалог, жесты) для формирования диагностического мышления при обучении диагностике редких заболеваний на примере синдрома Марфана. Описаны архитектура среды, образовательный цикл, демонстрационный сценарий и простая математическая модель, по которой система определяет тип ошибки обучающегося и выбирает следующий сценарий. Модель не реализована и не проверялась экспериментально; приведён протокол будущей проверки.

Ключевые слова: *редкие заболевания, искусственный интеллект, виртуальная реальность (VR), дополненная реальность (AR), 3D-визуализация, медицинское образование, адаптивное обучение, дифференциальная диагностика.*

Abstract

The article proposes a model of an educational environment that integrates artificial intelligence, 3D visualization, VR/AR, and multimodal channels (audio, dialogue, and gestures) to develop diagnostic reasoning in learning to diagnose rare diseases, using Marfan syndrome as an example. The architecture of the environment, the educational cycle, a demonstration scenario, and a simple mathematical model are described. The mathematical model enables the system to identify the type of learner error and select the next scenario accordingly. The model has not been implemented or experimentally validated; a protocol for future evaluation is presented.

Keywords: *rare diseases, artificial intelligence, virtual reality (VR), augmented reality (AR), 3D visualization, medical education, adaptive learning, differential diagnosis.*

Введение

Каждое редкое заболевание встречается нечасто, поэтому будущие врачи видят мало реальных пациентов, а клиницисты отмечают потребность в обучении диагностике таких состояний [1]. Синдром Марфана хорошо подходит как пример: поздняя диагностика может привести к расслоению аорты, а диагноз опирается на формализованные критерии Гентской номенклатуры [8].

Диагностическое мышление формируется через накопленные клинические образы и целенаправленную практику [9, 10], а объём учебной нагрузки нужно соотносить с возможностями обучающегося [11]. VR, 3D-визуализация и генеративный ИИ изучаются в медицинском образовании по

отдельности [2–4], но для редких заболеваний сценарии, объединяющие эти технологии, в просмотренных источниках не найдены. В Узбекистане AR/VR внедряются в симуляционных центрах вузов, однако найденные источники описывают оснащение, а не образовательный эффект.

Цель работы — предложить модель образовательной среды на основе ИИ, 3D-визуализации, VR/AR и мультимодальных технологий для формирования диагностического мышления при редких заболеваниях на примере синдрома Марфана.

Задачи: проанализировать практики AR/VR; описать архитектуру среды, образовательный цикл и демонстрационный сценарий; построить геометрическую модель патологических структур; предложить протокол экспериментальной проверки.

Методы

Работа носит обзорно-концептуальный характер и не является систематическим обзором: исчерпывающий поиск, независимый отбор публикаций и количественный синтез не проводились. Поиск велся по четырем направлениям: VR в медицинском образовании; генеративный ИИ в образовании; интеграция ИИ и XR; образовательные потребности в диагностике редких заболеваний. Период поиска 2023–2026 гг. Основу составили семь публикаций; для разделов 3.1–3.3 дополнительно использованы открытые институциональные и новостные материалы. Ограничения подхода рассмотрены в разделе «Обсуждение».

Проектирование модели и выбор заболевания

Использованы структурно-функциональный анализ, сравнение технологических подходов, проектирование последовательности взаимодействия компонентов и геометрическое моделирование патологических структур.

Синдром Марфана — наследственное заболевание соединительной ткани с поражением скелета, глаз и сердечно-сосудистой системы. Он удобен для демонстрации по трем причинам. Во-первых, поздняя диагностика может привести к расслоению аорты, поэтому цена ошибки высока. Во-вторых, диагноз ставится по формализованным критериям ревизованной Гентской номенклатуры (расширение корня аорты, эктопия хрусталика, мутация гена FBN1, системная шкала скелетных признаков) [8]; это дает готовую структуру сценария и объективные критерии оценки. В-третьих, есть сходные по фенотипу состояния (синдром Лойса–Дитца, гомоцистинурия, синдром Элерса–Данлоса), на которых можно строить дифференциальные случаи. Библиотека случаев может расширяться.

Предполагаемая программная цепочка: подготовка и экспертная проверка данных, создание нормальных и патологических 3D-моделей (например, в Blender), оптимизация и интеграция в среду разработки (Unity или Unreal Engine).

Для 3D-моделей используется один принцип: патологическая модель получается из нормальной изменением нескольких измеряемых параметров. Так выраженность признака задаётся числом, модель воспроизводима, а те же числа используются при оценивании. Модель описывает три структуры, значимые по критериям [8]; параметры можно задавать в Blender, например через ключи формы или геометрические узлы.

1. Корень аорты. Он представляется поверхностью вращения вокруг оси кровотока с радиусом R(z) на высоте z (с учётом синусов Вальсальвы). Диаметр на уровне синусов:

$$\boldsymbol{D} = \boldsymbol{D}_{\text{норма}} + \boldsymbol{Z} * \boldsymbol{SD} \qquad (1)$$

Где (1) D_норма — ожидаемый диаметр для возраста и площади поверхности тела, SD — стандартное отклонение, Z — Z-показатель (Z = 0 соответствует норме, Z ≥ 2 — расширению по критериям [8]). Профиль радиуса масштабируется:

$$\boldsymbol{R}_{(\text{пат})}(\boldsymbol{z}) = \frac{\boldsymbol{D}}{\boldsymbol{D}_{\text{норма}}} \cdot \boldsymbol{R}_{(\text{норма})}(\boldsymbol{z}) \qquad (2)$$

Нормативные значения (2) D_норма и SD берутся из экспертно проверенных таблиц и в статье не приводятся.

1. Пропорции скелета. Параметры: размах рук A, рост H, длины верхнего и нижнего сегментов тела US и LS. Патологическая модель собирается масштабированием сегментов нормального скелета:

$$\boldsymbol{A} = \boldsymbol{r_a} * \boldsymbol{H},\ \boldsymbol{US} = \boldsymbol{r_s} * \boldsymbol{LS} \qquad (3)$$

Признаки пропорций по шкале [8]: (3) A/H > 1,05 и US/LS < 0,85 (пороги для взрослых, подлежат проверке экспертом). Пример: при H = 190 см и r_A = 1,08 размах рук A = 190 · 1,08 ≈ 205 см.

3. Хрусталик. Эктопия хрусталика задаётся смещением его центра от оптической оси на δ_L мм в направлении φ:

$$(x, y) = (\delta_L cos\varphi, ;\ \delta_L sin\varphi) \qquad (4)$$

В норме (4) δ_L = 0; направление φ задаётся экспертом для каждого случая.

Связь с оцениванием. Система знает истинные значения параметров (Z, r_A, r_S, δ_L), поэтому может задавать сложность сценария: чем ближе параметр к порогу, тем труднее заметить признак (ошибка e1). Например, явное расширение корня аорты (Z = 4) даёт лёгкий случай, а Z = 2,2 — трудный. Модель упрощена: структуры считаются независимыми, реальная

анатомия вариабельнее, а точность моделей оценивается экспертами (раздел 4.4).

Результаты

В Узбекистане AR/VR внедряются через государственную цифровую стратегию и симуляционные центры вузов, но найденные источники описывают оснащение, а не измеренный образовательный эффект. За рубежом есть сравнительные данные для анатомии, но не для редких заболеваний.

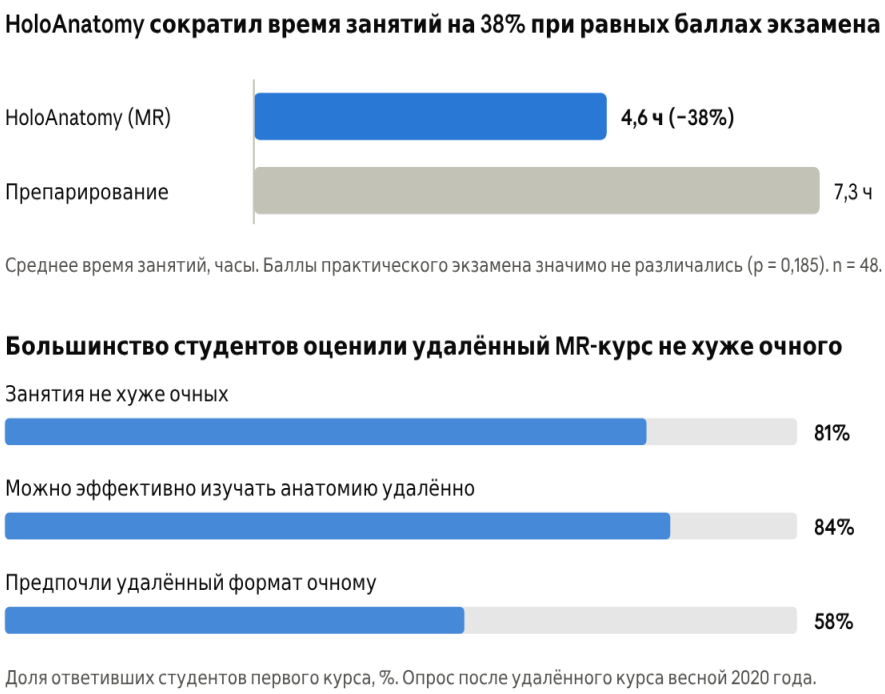
3.1. Практики AR/VR в Узбекистане

Рамку задает стратегия «Цифровой Узбекистан — 2030», утвержденная указом президента от 5 октября 2020 г. [13]. Обзор цифровых технологий в образовании страны относит VR/AR к стадии раннего внедрения [14].

В медицинском образовании практики сосредоточены в симуляционных центрах. Симуляционный центр Ташкентской медицинской академии (ТМА) включает 10 классов с манекенами и тренажерами, тест-центр и зону телемедицины, а в здании размещены VR/AR-площадки [15]. Сообщается о внедрении виртуальных симуляторов в ТМА, Ташкентском педиатрическом медицинском институте (ТашПМИ) и самаркандских вузах, а также об обсуждении интеграции ИИ [16]. Ташкентский государственный медицинский университет (ТГМУ) назван одним из самых оснащенных симуляционных центров региона [17]. В мае 2025 г. в ТашПМИ прошел мастер-класс по VR-технологиям [18]. Приложение Academix 3D применялось в итоговой аттестации выпускников ТМА; проведен онлайн-опрос выпускников 2021–2022 учебного года [19]. Вне медицины концепция Asnaro University (2022) предусматривает введение VR в учебный процесс [20, 21].

3.2. Международный опыт

Наиболее документирован опыт анатомии. В Case Western Reserve University платформа смешанной реальности HoloAnatomy применяется с 2018–2019 гг.; весной 2020 г. курс перевели в удаленный формат для 185 студентов [23]. По сравнению с препарированием время занятий сократилось, а баллы практического экзамена значимо не различались [22]. Еще четыре вуза заявили об использовании платформы, Оксфорд подписал письмо о намерениях [24]. В Ягеллонском университете годовой курс с MR-платформой студенты оценили положительно, отмечено улучшение пространственного понимания [25]. Обзоры показывают, что польза VR зависит от типа результата [2], а доказательства для комплексных решений ИИ и XR ограничены [4]. Эффект относится к анатомии; диагностическое рассуждение этими данными не измерялось.



3.3. Сравнение практик

Таблица 1: сравнение практик AR/VR в Узбекистане и за рубежом

Критерий	**Узбекистан**	**Зарубежный опыт**
Движущая сила	Государственная стратегия и проекты вузов [13, 20]	Университетские разработки и коммерческие платформы [22, 24]
Основная область	Симуляционные центры, VR/AR-площадки, аттестация [15, 19]	Анатомия на MR-платформах [22, 23, 25]
Тип доказательств	Описания оснащения и мнения выпускников [15–19]	Сравнение с препарированием, опрос 185 студентов, метаанализы [2, 22, 23]
ИИ и адаптация	ИИ обсуждается; ИИ-платформа в проекте Asnaro [16, 21]	Доказательства для ИИ и XR ограничены [4]
Масштабирование	Отдельные центры (ТМА, ТашПМИ, ТГМУ) [15, 17, 18]	Несколько вузов, письмо о намерениях Оксфорда [24]
Редкие заболевания	Не обнаружено	Не обнаружено в просмотренных источниках

3.4. Роли VR и AR в модели

VR используется для полного погружения: изучение анатомии, прохождение клинических сценариев, сравнение нормы и патологии. AR — облегченный режим на мобильном устройстве или в очках: наложение 3D-модели на пособие или манекен, повторение материала вне симуляционного

класса. Основные выводы и экспериментальная часть относятся к VR-режиму; роль AR требует отдельной проверки. [26].

3.5. Три функции ИИ

Термин «ИИ» в модели обозначает три функции с разным уровнем риска.

Таблица 2: три функции ИИ в модели, их риски и контроль

Функция	**Что делает**	**Риск**	**Контроль**
Структурирование	Превращает проверенные сведения в черновик сценария	Искажение при пересказе	Проверка эксперта
Вариативность	Формулирует жалобы и диалог с «пациентом»	Выход за рамки базы знаний	Генерация с опорой на базу (RAG)
Адаптация	Выбирает следующий сценарий и тип пояснения	Непрозрачность решений	Правила по типу ошибки, журнал решений

3.5.1. Мультимодальный слой

Мультимодальность в модели означает, что обучающийся получает информацию и действует через несколько каналов, а не только смотрит на 3D-модель. Каналы подобраны под признаки синдрома Марфана и под типы ошибок из раздела 3.8.

Таблица 3: каналы мультимодального слоя и тренируемые ошибки

Канал	**Что делает обучающийся**	**Какую ошибку тренирует**
Визуальный (3D-модели)	Рассматривает скелет, корень аорты, глаз; сравнивает норму и патологию	e1
Тактильный (контроллеры, жесты)	Воспроизводит приёмы осмотра, например симптомы запястья и большого пальца	e1

Звуковой	Слушает сердечные тоны и шумы виртуального пациента	e1, e2
Диалоговый (голос или текст)	Расспрашивает пациента, запрашивает данные	e3
Данные обследований (ЭхоКГ, осмотр глаза)	Читает результаты и сопоставляет с критериями	e2

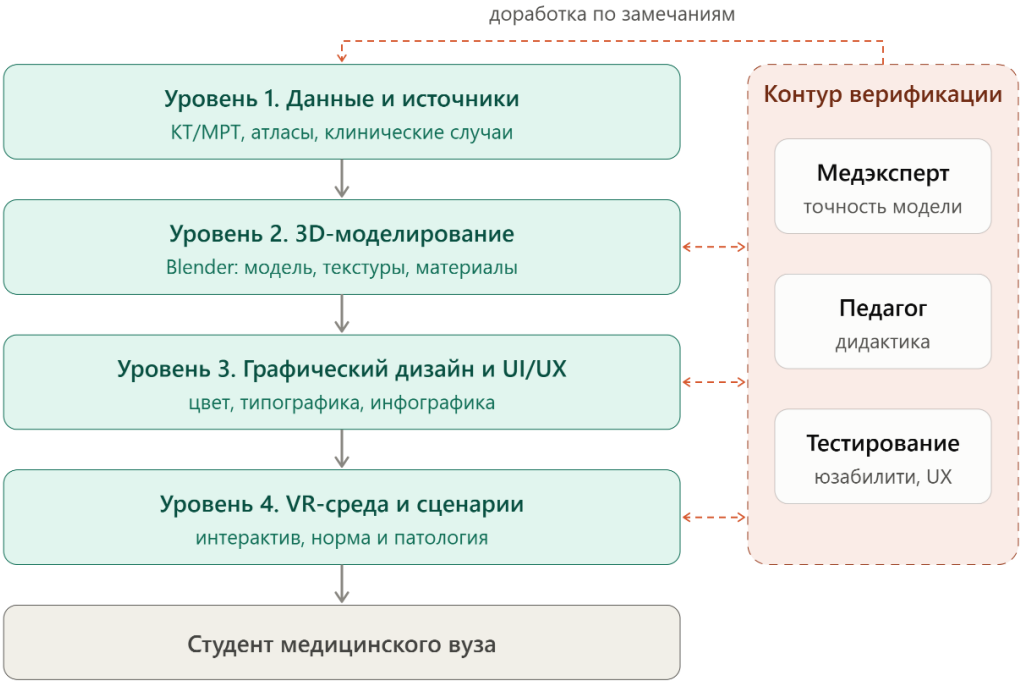
Диалоговый канал реализуется генеративным слоем в рамках проверенной базы; звуковые и визуальные материалы проходят ту же экспертную верификацию. В VR доступны все каналы, в AR — визуальный и диалоговый. Польза мультимодальных каналов для диагностического мышления в просмотренных источниках не измерялась и остаётся гипотезой.

3.6. Архитектура из четырех уровней

1. **Медицинская база знаний:** проверенные сведения о заболевании, критерии диагностики, нормальные и патологические структуры, дифференциальные случаи.
2. **Интеллектуальный модуль:** структурирование, вариативность, выбор сценария по правилам.
3. **Мультимодальный модуль:** нормальные и патологические 3D-модели, показ в VR/AR, звуковой, диалоговый и тактильный каналы.
4. **Образовательный модуль:** задания, запись действий, оценивание, профиль обучающегося.

Экспертная верификация охватывает уровни 1–3 и предусматривает обязательную проверку каждого учебного сценария и каждой патологической модели профильным специалистом до их предоставления обучающимся. Дополнительно результаты проверки документируются, а выявленные неточности устраняются до включения материалов в образовательную среду.

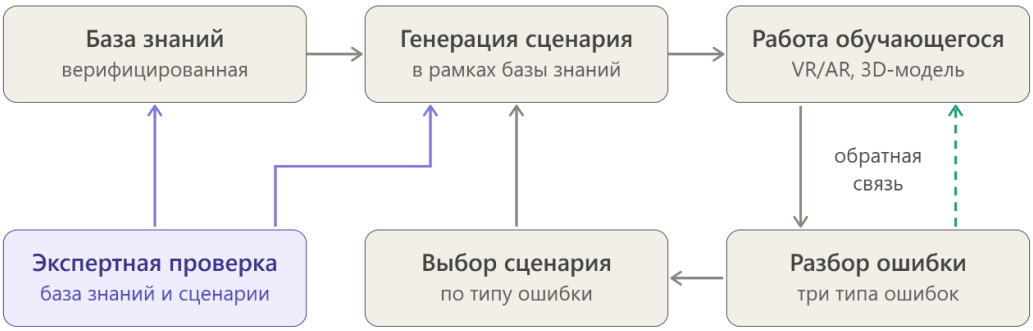
Рисунок 1. Схема четырех уровней с контуром верификации.



3.7. Образовательный цикл

Проверенные данные → подбор сценария → 3D-модель и среда → клиническая ситуация → действия обучающегося → оценивание → адаптация → возврат к подбору сценария. Обратная связь меняет не только сложность, но и сам выбор сценария. Эксперты участвуют на входе (проверка базы и сценариев) и периодически на выходе (анализ журналов для поиска систематических дефектов).

Рисунок 2. Блок-схема цикла с обратной связью и блоком экспертной проверки.



3.8. Типология ошибок

Главное отличие модели: адаптация опирается не на общий балл, а на тип ошибки.

Таблица 4: типология диагностических ошибок и реакция системы

Тип ошибки	Пример	Реакция системы
e1. Пропуск признака (восприятие)	Не замечена эктопия хрусталика или расширение корня аорты	Подсказки на 3D-модели, повторный осмотр
e2. Неверная интерпретация (знание)	Признак найден, но критерий применен неверно	Пояснение критерия, пример нормы для сравнения
e3. Преждевременный диагноз (рассуждение)	Диагноз поставлен до сбора нужных данных	Похожий случай с «ловушкой», требующий запросить данные

3.9. Демонстрационный сценарий

Сценарий идет от нормы к патологии и затем к клиническому случаю в шесть этапов:

1. **Норма и патология.** Обучающийся изучает нормальную анатомию грудной клетки, корня аорты и глаза, затем соответствующие патологические изменения.
2. **Клинический случай.** Виртуальный пациент: жалобы (диалог), анамнез, осмотр (рост, пропорции, симптомы запястья и большого пальца), результаты обследований (аускультация сердца, ЭхоКГ, осмотр глаза).
3. **Выбор признаков и тактики.** Обучающийся выделяет значимые признаки и выбирает дальнейшие исследования.
4. **Диагностическая гипотеза.** Обучающийся формулирует гипотезу и обосновывает ее по критериям Гентской номенклатуры.
5. **Анализ ошибок.** Система определяет тип каждой ошибки и дает пояснения.
6. **Повторное прохождение.** Данные меняются, предъявляются дифференциальные пациенты: с синдромом Лойса–Дитца, с гомоцистинурией, а также человек без патологии с высоким ростом и астеническим телосложением.

Дифференциальные случаи включены на основании допущения: обучение только на пациентах с синдромом Марфана может сформировать установку «находить синдром всегда» вместо навыка дифференциальной диагностики. Допущение гипотетическое и требует проверки. Сценарий имеет только учебное назначение.

3.10. Сравнительная матрица

Матрица является аналитической гипотезой автора на основе литературы и не результатом эмпирического сравнения.

Таблица 5: сравнительная матрица подходов к обучению

Критерий	Традиционные материалы	Интерактивные 3D-модели	VR-симуляция	Предлагаемая модель
Пространственная визуализация патологии	Нет	Да	Да	Да
Повторяемые клинические сценарии	Ограниченно	Нет	Да	Да
Дифференциальные случаи	Редко	Нет	Зависит от разработчика	Да (в базе случаев)
Адаптация по типу ошибок	Нет	Нет	Обычно нет	Да
Экспертная верификация содержания	Да	Зависит	Зависит	Обязательный контур
Стоимость и сложность внедрения	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
Доказательная база	Обширная	Умеренная	Растущая	Отсутствует

Обсуждение

VR, 3D-визуализация и генеративный ИИ уже изучаются по отдельности, но для обучения диагностике редких заболеваний они почти не объединены. Метаанализ [2] показывает пользу VR для практических навыков, однако эффект зависит от типа результата, поэтому эффективность предлагаемой среды нельзя выводить из одного лишь наличия VR-интерфейса. Исследование [3] указывает на возможности и риски больших языковых моделей, и в нашей модели генеративный слой ограничен проверенной базой знаний. Обзор [4] отмечает нехватку доказательств для интегрированных решений: это поддерживает актуальность направления, но не доказывает новизну модели. Мультимодальные каналы (звук, диалог, жесты) расширяют среду за пределы зрительного восприятия, однако их польза для диагностического мышления в просмотренных источниках не оценивалась.

Вклад работы мы видим не в самом сочетании технологий, а в нескольких проектных решениях: адаптации по типу ошибки, разделении детерминированного и генеративного слоёв при обязательной экспертной верификации, включении дифференциальных случаев в учебную библиотеку и параметрическом описании патологических структур, которое связывает выраженность признака со сложностью сценария. Эти решения следуют из когнитивного механизма проблемы и поддаются проверке в эксперименте.

Практически модель могла бы встроиться в симуляционные центры ТМА, ТашПМИ и ТГМУ. Опыт Case Western Reserve показывает, что сравнение со стандартным методом по времени и баллам экзамена выполнимо. Протокол ниже опирается на тот же подход и добавляет отсроченный тест и разбор типов ошибок. Моделей для редких заболеваний с адаптацией по типу ошибки в просмотренных источниках не найдено, но этот вывод предварительный.

Модель имеет ограничения. Прототип не реализован и данные не получены, поэтому образовательная эффективность не оценивалась. Литературный анализ не был систематическим: основу составили семь источников, три из них опубликованы в региональных журналах в 2026 г., а литература по мультимодальному обучению отдельно не анализировалась; для подтверждения новизны нужен систематический поиск. Корректность сценариев зависит от полноты верифицированной базы знаний и участия профильных специалистов, а геометрические параметры моделей упрощены и требуют экспертной проверки. Типология ошибок и правила адаптации заданы теоретически: нужно проверить согласованность классификации ошибок и эффект адаптации по сравнению с неадаптивным обучением. Наконец, внедрение связано с практическими и этическими рисками: киберболезнью, стоимостью оборудования, защитой персональных данных обучающихся и ограниченным разнообразием фенотипов в моделях, в том числе разных этнических групп. Поэтому представленные результаты служат основой для прототипа и эксперимента, а не доказательством эффективности.

Протокол экспериментальной проверки

Протокол относится к следующему этапу и в настоящей работе не выполнялся.

Дизайн. Рандомизированное сравнение четырёх условий: традиционные материалы, интерактивные 3D-модели, VR-сценарий без адаптации, VR-сценарий с адаптацией по типу ошибок и ИИ-обратной связью. Третье и четвёртое условия различаются только адаптивным компонентом, что позволяет оценить его вклад отдельно от вклада VR. Время работы выравнивается между группами.

Гипотезы. H1: адаптивное VR-условие даёт больший прирост результатов теста, чем неадаптивное. H2: оно лучше сохраняет знания при отсроченном тестировании. H3: когнитивная нагрузка не выше, чем в неадаптивном VR-условии. Размер выборки рассчитывается по ожидаемому размеру эффекта.

Показатели. Основные: изменение результатов теста, точность распознавания признаков, правильность диагностических решений, доля ошибок каждого типа, время выполнения. Дополнительные: отсроченное тестирование через 2–4 недели, перенос на новый случай, удобство использования (SUS), когнитивная нагрузка (NASA-TLX), киберболезнь (SSQ), удовлетворённость. Результаты интерпретируются по уровням модели Киркпатрика.

Экспертная оценка. Корректность 3D-моделей и сценариев оценивается независимыми экспертами отдельно от педагогической оценки; согласованность измеряется количественно (индекс валидности содержания, коэффициент каппа).

Этика. Нужны одобрение этического комитета, информированное согласие и защита персональных данных, включая журналы действий.

Заключение

Предложена модель образовательной среды для изучения редких заболеваний, объединяющая ИИ, 3D-визуализацию, VR/AR, мультимодальные каналы (звук, диалог, жесты) и клиническую симуляцию. Ключевые решения: адаптация по типу диагностической ошибки, разделение детерминированного и генеративного слоёв при обязательной экспертной верификации, библиотека дифференциальных случаев. На примере синдрома Марфана описаны образовательный цикл, архитектура и протокол оценки эффективности.

Предположение о том, что такая организация обучения даёт более структурированное усвоение редких заболеваний, остаётся гипотезой. Дальнейшая работа: прототип, экспертная верификация содержания, систематический обзор и рандомизированное сравнительное исследование.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Rohani-Montez S, et al. Educational needs in diagnosing rare diseases: A multinational, multispecialty clinician survey. Genetics in Medicine Open. 2023;1:100808. https://doi.org/10.1016/j.gimo.2023.100808
2. Kim H-Y, Kim E-Y. Effects of Medical Education Program Using Virtual Reality: A Systematic Review and Meta-Analysis. Int J Environ Res Public Health. 2023;20(5):3895. https://doi.org/10.3390/ijerph20053895
3. Lucas HC, Upperman JS, Robinson JR. A systematic review of large language models and their implications for medical education. Medical Education. 2024;58(11):1276–1285. https://doi.org/10.1111/medu.15402

4. Tene T, Vique López DF, García Veloz MJ, et al. Artificial intelligence, extended reality, and emerging AI–XR integrations in medical education. Frontiers in Digital Health. 2026. https://doi.org/10.3389/fdgth.2025.1740557

5. Yusupova G. The Role of Virtual Reality Technologies in Improving Anatomy Education. South Aral Region Medical Journal. 2026. https://journal.urdti.uz/SARMJ/en/article/view/999

6. Chartakov SSh. Innovative Approaches to Teaching Human Anatomy in Medical Education. Akademik Tadqiqotlar Jurnali. 2026. https://wkscientificbulletin.com/index.php/atj/article/view/2375

7. Yodgoraliyev MM, Aliyev DS. Tibbiyot oliy ta'limida travmatologiya fanini o'qitishda sun'iy intellekt va virtual reallik (VR) texnologiyalarining roli. Zamonaviy fan va ta'lim yangiliklari. 2026. https://innopub.uz/index.php/Jurnal/article/view/315

8. Loeys BL, Dietz HC, Braverman AC, et al. The revised Ghent nosology for the Marfan syndrome. J Med Genet. 2010;47(7):476–485.

9. Schmidt HG, Rikers RMJP. How expertise develops in medicine: knowledge encapsulation and illness script formation. Medical Education. 2007;41(12):1133–1139.

10. Ericsson KA. Deliberate practice and the acquisition and maintenance of expert performance in medicine and related domains. Academic Medicine. 2004;79(10 Suppl):S70–S81.

11. Sweller J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning. Cognitive Science. 1988;12(2):257–285.

12. Orphanet. Определение и распространённость редких заболеваний.

13. Указ Президента Республики Узбекистан от 05.10.2020 № ПФ-6079 о стратегии «Цифровой Узбекистан — 2030» (по ссылке в: Prospects for the use of virtual reality in the education system. https://journal.fdu.uz/index.php/sjfsu/article/view/3910)

14. Обзор цифровых технологий в образовании Узбекистана. https://inlibrary.uz/index.php/sies/article/view/51005

15. A press tour was organized to the Tashkent Medical Academy. 29.12.2023. https://surgery.med.tma.uz/archives/5155

16. When algorithms meet anatomy: Uzbekistan's medical education in the age of technology. Tashkent Medical Academy. https://journals.tma.uz/index.php/cajm/article/view/1351

17. Boymurodov ShA, Okhunov AO. Simulation-based medical education: the experience of Tashkent State Medical University. Journal of Education and

Scientific Medicine. 1(6):2–8. https://www.journals.tma.uz/index.php/jesm/article/view/1311

18. Scientific and practical conference at Tashkent Pediatric Medical Institute. SKMA news, 02.06.2025. https://new.skma.edu.kz/en/news/scientific-and-practical-conference-at-tashkent-pediatric-medical-institute

19. Parpibaeva DA, Salayeva MS, Salimova ND, Ergashov NSh, Buvamuxamedova NT. Final state certification of graduates of the Tashkent Medical Institute using an interactive application Academix 3D. Spectrum Journal of Innovation, Reforms and Development. 2023. https://repository.tma.uz/jspui/handle/1/9645

20. Polito Tashkent. Concept of establishing Asnaro University. 2022. https://polito.uz/18178/

21. Implementation of the Next Generation Ubiquitous Learning Platform for Uzbekistan's New University. Press release, август 2021. https://links.sgx.com/1.0.0/corporate-announcements/V4NLNRNXYVPJ8WCY/681430_20210826%20Alpha-Press%20Release.pdf

22. Mixed reality as a time-efficient alternative to cadaveric dissection (HoloAnatomy, Case Western Reserve University). PubMed PMID 32401090. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32401090/

23. Assessment of mixed-reality technology use in remote online anatomy education. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7499123

24. Case Western Reserve University. University's HoloAnatomy spreads to other campuses. https://case.edu/news/universitys-holoanatomy-spreads-other-campuses

25. Transforming anatomy education with mixed reality: a curriculum-based study using a holographic anatomy software suite (Jagiellonian University Medical College). https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-4f247d47-614d-4b21-ac83-ae502bc47434

26. Азларова Р.Ш. Инновационные образовательные технологии: обзор применения AR и VR в обучении. International Journal of Science and Technology. 2025;2(15):7–9. https://doi.org/10.70728/tech.v02.i15.002