УДК 378.147:616.31-089

КЕЙС-СИМУЛЯЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ ХИРУРГИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ: РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИИ, VR И AR

Хасанова Мовлуда Ахрамовна *- Магистранты 2-го курса кафедры хирургической стоматологии и дентальной имплантологии Ташкентского государственного медицинского университета. xasanova.lyuda.03@gmail.com*
Сафаров Орифжон Шароф угли *- Магистранты 2-го курса кафедры хирургической стоматологии и дентальной имплантологии Ташкентского государственного медицинского университета. drorifjonsafarov@gmail.com*
Каримжонова Муттозахон Одиловна *- Магистрант 2-го курса кафедры терапевтической стоматологии Ташкентского государственного медицинского университета. karimjonova.mumtoza@icloud.com*
Мурадова Малика Саидахроровна - *PhD, ассистент кафедры общественного здоровья, менеджмента здравоохранения и физического воспитания Ташкентского государственного медицинского университета. drneuro85@gmail.com*

Аннотация. Цель. Сопоставить традиционное и кейс-симуляционное обучение хирургической стоматологии студентов 3-го курса по изменению интегрального показателя практической подготовки и числа технических ошибок, а также по самостоятельности принятия решений в конце учебного цикла.

Материалы и методы. В сравнительном педагогическом исследовании участвовали 48 студентов Ташкентского государственного медицинского университета. Контрольная и основная группы включали по 24 человека. В течение семестра контрольная группа обучалась традиционно, основная — по циклу «кейс — решение — манипуляция — дебрифинг — повторная попытка». Исходные и итоговые групповые показатели сопоставляли описательно.

Результаты. В контрольной группе интегральный показатель вырос с 62,4 до 74,8 балла, в основной — с 61,9 до 87,3 балла. Прирост составил соответственно 12,4 и 25,4 балла; разность приростов — 13,0 балла. Среднее число технических ошибок снизилось с 4,1 до 2,6 и с 4,0 до 1,3. Доля студентов, самостоятельно принявших решение при итоговом оценивании, составила 66,7% и 87,5%. Статистическую значимость различий не оценивали.

Заключение. В основной группе наблюдалось более выраженное улучшение учебных показателей. Результаты относятся к кейс-симуляционной программе в целом. Искусственный интеллект (ИИ), виртуальная (VR) и дополненная (AR) реальность рассматриваются как средства её дальнейшего развития; их вклад в наблюдаемые различия не исследовался.

Ключевые слова: хирургическая стоматология, кейс-ориентированное обучение, симуляционное обучение, практические навыки, искусственный интеллект.

Abstract. Objective. To compare traditional instruction and case-based simulation learning in third-year oral surgery students by changes in the composite practical skills score and technical errors, and by independent decision-making at the end of the training cycle.

Materials and methods. This comparative educational study included 48 students at Tashkent State Medical University, with 24 participants in each of the control and intervention groups. Over one semester, the control group received traditional instruction, while the intervention group followed a “case — decision — procedure — debriefing — repeat attempt” cycle. Baseline and final group-level outcomes were compared descriptively.

Results. The composite score increased from 62.4 to 74.8 points in the control group and from 61.9 to 87.3 points in the intervention group. The respective gains were 12.4 and 25.4 points, giving a between-group difference in gains of 13.0 points. Mean technical errors decreased from 4.1 to 2.6 and from 4.0 to 1.3. The proportions of students making an independent decision at the final assessment were 66.7% and 87.5%, respectively. Statistical significance was not assessed.

Conclusion. Greater improvement in educational outcomes was observed in the intervention group. The findings concern the case-based simulation programme as a whole. Artificial intelligence (AI), virtual reality (VR), and augmented reality (AR) are considered possible tools for its further development; their contributions to the observed differences were not investigated.

Keywords: oral surgery, case-based learning, simulation-based learning, practical skills, artificial intelligence.

Annotatsiya. Maqsad. 3-kurs talabalariga jarrohlik stomatologiyasini an'anaviy hamda keys va simulyatsiya asosida o'qitishni amaliy tayyorgarlik integral ko'rsatkichi va texnik xatolar sonining o'zgarishi, shuningdek, o'quv sikli yakunida mustaqil qaror qabul qilish bo'yicha taqqoslash.

Materiallar va usullar. Qiyosiy pedagogik tadqiqotda Toshkent davlat tibbiyot universitetining 48 nafar talabasi ishtirok etdi. Nazorat va asosiy guruhlarning har biriga 24 nafardan talaba kiritildi. Bir semestr davomida nazorat guruhi an'anaviy usulda, asosiy guruh esa «keys — qaror — manipulyatsiya — debrifing — takroriy urinish» sikli asosida o'qitildi. Boshlang'ich va yakuniy guruh ko'rsatkichlari tavsifiy taqqoslandi.

Natijalar. Integral ko'rsatkich nazorat guruhida 62,4 dan 74,8 ballgacha, asosiy guruhda 61,9 dan 87,3 ballgacha oshdi. O'sish mos ravishda 12,4 va 25,4 ballni, o'sishlar farqi esa 13,0 ballni tashkil etdi. Texnik xatolarning o'rtacha soni 4,1 dan 2,6 gacha va 4,0 dan 1,3 gacha kamaydi. Yakuniy baholashda mustaqil qaror qabul qilgan talabalar ulushi mos ravishda 66,7% va 87,5% bo'ldi. Farqlarning statistik ahamiyatliligi baholanmadi.

Xulosa. Asosiy guruhda o'quv ko'rsatkichlarining yaxshilanishi ko'proq kuzatildi. Natijalar keys va simulyatsiyaga asoslangan dasturni yaxlit holda tavsiflaydi. Sun'iy intellekt (SI), virtual (VR) va to'ldirilgan (AR) reallik dasturni keyinchalik rivojlantirish vositalari sifatida ko'rib chiqildi; ularning kuzatilgan farqlarga hissasi tadqiq etilmadi.

Kalit so'zlar: jarrohlik stomatologiyasi, keysga asoslangan o'qitish, simulyatsion o'qitish, amaliy ko'nikmalar, sun'iy intellekt.

Введение. В хирургической стоматологии знание алгоритма и выполнение манипуляции составляют взаимосвязанные, но не тождественные задачи обучения. Студенту необходимо обосновать решение, выбрать инструмент и выполнить действие с учётом условий клинической ситуации. Поэтому практическое задание должно соответствовать учебной цели, а оценивание — охватывать как обоснование, так и технику. Такая согласованность отражена в рекомендациях Association for Dental Education in Europe (ADEE) [3].

Симуляция позволяет отрабатывать действия до их выполнения у пациента. Однако сам по себе доступ к тренажёру не определяет результат: существенны содержание задания, обратная связь и возможность повторить трудный этап [5, 6, 10]. Применение интерактивных методов в последипломной подготовке стоматологов также рассматривается в работе У. Ю. Мусаева и Ж. А. Ризаева [1].

В исследовании проверялась организация занятий, в которой разбор клинического случая непосредственно связан с манипуляцией и её последующей коррекцией. Традиционное обучение сопоставляли с циклом «кейс — решение —

манипуляция — дебрифинг — повторная попытка». Работы о цифровой симуляции и ИИ использованы для обсуждения возможного развития этой программы [2, 4, 8, 12, 13]. Эффективность цифровых модулей не являлась предметом проведённого сравнения.

Цель исследования. Сравнить традиционное и кейс-симуляционное обучение хирургической стоматологии студентов 3-го курса по изменению интегрального показателя практической подготовки и среднего числа технических ошибок, а также по итоговым результатам отдельных компонентов подготовки. Дополнительная задача — обозначить возможности ИИ и VR/AR для дальнейшего развития программы, не приписывая им эффект проведённого обучения.

Материалы и методы. Сравнительное педагогическое исследование с оцениванием до и после учебного цикла проведено в Ташкентском государственном медицинском университете. Участниками стали 48 студентов 3-го курса, изучавших хирургическую стоматологию: 24 человека составили контрольную группу, 24 — основную. Наблюдение охватывало один семестр.

Количественный материал включал сводные результаты учебного оценивания: исходные и итоговые значения интегрального показателя, среднее число технических ошибок и итоговые доли студентов, выполнивших отдельные компоненты задания. Числовые показатели получены в исследовании; сведения из публикаций использовались для методического обоснования и обсуждения.

Дизайн и организация обучения. Отбор участников и распределение по группам были случайными. Обе группы изучали одни и те же темы; учебным планом предусматривалось одинаковое количество практических занятий. Содержание программ различалось способом организации работы с клинической ситуацией и практическим заданием.

В контрольной группе занятия включали обсуждение теории, устный опрос, объяснение преподавателя, демонстрацию инструментария, разбор клинических случаев и выполнение отдельных манипуляций. В основной группе студент сначала анализировал жалобы, анамнез и диагностические сведения, затем обосновывал решение и выполнял связанное с ним действие на фантоме или модели челюсти.

Таким образом, клинические случаи использовались в обеих группах. Отличительной чертой основной программы была обязательная связь разбора случая с действием, обратной связью и повторной попыткой. В описании программы для практики указан один час. Фактическое время самостоятельной работы и число повторений по каждому студенту не приведены, поэтому равенство этих параметров между группами не устанавливалось.

Практические занятия и обратная связь. Практическая часть охватывала выбор хирургического инструментария, работу с элеваторами и щипцами, местное обезболивание, отдельные этапы удаления зуба, обработку лунки, гемостаз и наложение швов. На фантомах и моделях челюстей отрабатывали положение врача и пациента, обращение с инструментами и последовательность действий. Исследования обучения шовной технике на моделях использованы как методическая основа соответствующего блока [7, 11].

После задания в основной группе проводили дебрифинг. Сначала студент разбирал собственные действия, затем обсуждал затруднения с преподавателем. Коррекция касалась конкретного этапа: ошибки в решении сопоставляли с условиями кейса, технические ошибки — с выполненной манипуляцией. После разбора студент повторял этап, вызвавший затруднение. Такая последовательность согласуется с принципами целенаправленной практики и обратной связи [10].

Оцениваемые показатели. Оценивали постановку диагноза, обоснование лечебной тактики, выбор инструментария, последовательность вмешательства и технику наложения швов. Самостоятельность принятия решения и среднее число технических ошибок учитывали отдельно. Их раздельное представление позволяет не смешивать качество решения с качеством исполнения.

Для интегрального показателя и среднего числа технических ошибок имелись исходные и итоговые групповые значения. Доли студентов, успешно выполнивших отдельные компоненты, представлены только для итогового оценивания; динамика этих долей не анализировалась.

Основанием педагогической оценки служили обсуждение клинического решения и наблюдение преподавателя за выполнением манипуляции. Сводные значения интегрального показателя анализировались в том виде, в котором они были представлены в результатах исследования.

Кейс КС-1 и лист наблюдения в таблице 1 дополняют описание методики: они связывают клиническое обоснование, техническое действие и объём помощи преподавателя. Это методическое сопровождение, а не исходный инструмент измерения. Результаты таблиц 2 и 3 по форме КС-1 не пересчитывались.

Обработка и представление данных. Анализ ограничивался описательным сопоставлением групповых результатов. Изменение показателя рассчитывали как итоговое среднее минус исходное. Для числа ошибок отрицательное изменение означает уменьшение; величину уменьшения выражали положительным числом. Отдельно определяли разность итоговых средних между группами и разность их приростов.

Доли студентов представлены в процентах, межгрупповые разности — в процентных пунктах. Вычисления выполняли по приведённым округлённым значениям. По сводным таблицам не восстанавливали индивидуальные сочетания исходов, пропущенные измерения или распределение числа ошибок между участниками.

Границы количественного анализа. Групповые средние и доли характеризуют направление и величину наблюдаемых различий. Доверительные интервалы и значения p не рассчитывались; статистическая значимость не устанавливалась. По итоговым долям нельзя судить об их индивидуальной динамике, а результаты семестрового контроля не подтверждают сохранение навыка после завершения обучения. Отдельная оценка ИИ и VR/AR в дизайн не входила.

Методическое сопровождение практического задания. Кейс КС-1 показывает, как организовать цикл на примере простого узлового шва: от условия и обоснования решения до выполнения, разбора и повторной попытки. Лист наблюдения предназначен для обратной связи по отдельным действиям. Он не задаёт формулу интегрального показателя, использованного в количественном анализе.

Кейс КС-1. Простой узловой шов на модели

Условие. После планового вмешательства у условного взрослого пациента имеется линейная рана слизистой. Кровотечение остановлено, активная инфекция и дефект тканей отсутствуют. Показание к сопоставлению краёв простым узловым швом уже установлено. Студент работает на модели с обозначенными краями; назначение лекарств и лечение осложнений не входят в задание.

Задание. Обосновать цель шва с учётом заданных условий, выбрать иглодержатель, пинцет, ножницы, иглу и нить. После выполнения оценить сопоставление краёв и устойчивость узла. Решение должно опираться на сведения кейса, без добавления неуказанных клинических обстоятельств. Пространственные ориентиры задаются разметкой и образцом конкретной модели.

Коррекция. При неверном выборе инструмента повторно обсуждают его назначение. Несопоставленные края или повреждение модели требуют разбора техники, неустойчивый узел — повторения соответствующего этапа. При потере контроля над иглой или риске укола выполнение останавливают. Успешная работа на модели сама по себе не означает допуска к вмешательству у пациента.

Таблица 1.

КС-1: структурированный лист наблюдения

Код _____ Дата _____ Оценщик _____ Попытка ___

Модель и версия эталона _____

Отметка: В — выполнено; Ч — частично; Н — не выполнено; НО — не наблюдалось. Помощь: Б — без подсказки; ВП — направляющий вопрос; П — указание или показ.

Компонент	Наблюдаемый признак	Отметка / помощь
Клиническое обоснование	Связывает шов с заданным показанием, выделяет существенные условия.	___ / ___
План и инструменты	Выбирает набор и объясняет назначение инструментов и материала.	___ / ___
Подготовка и безопасность	Контролирует иглу и инструменты; не создаёт риска укола.	___ / ___
Владение инструментами	Применяет инструменты по назначению, не травмирует модель.	___ / ___
Проведение иглы	Следует разметке и образцу, сохраняет контроль над иглой.	___ / ___
Сопоставление краёв	Достигает сопоставления без разрыва и чрезмерного стягивания.	___ / ___
Узел и завершение	Формирует устойчивый узел; результат сохраняется, игла учтена.	___ / ___
Самоанализ и коррекция	Оценивает результат и задаёт цель следующей попытки.	___ / ___

Подсказки ___; ошибки ___; остановка: да / нет, причина _____. Повторяемый этап _____. Суммарный балл не рассчитывается; НО не приравнивается к ошибке. Пороги успешности и согласованность оценщиков требуют отдельной проверки.

Результаты. Исходные средние интегрального показателя составляли 62,4 балла в контрольной группе и 61,9 балла в основной; разность равнялась 0,5 балла. К концу семестра среднее значение увеличилось в обеих группах. Динамика баллов и технических ошибок приведена в таблице 2, итоговые результаты отдельных компонентов — в таблице 3.

Таблица 2.

Динамика интегрального показателя и технических ошибок

Показатель	Группа	До цикла	После цикла	Изменение
Интегральный показатель, баллы	Контрольная	62,4±5,8	74,8±5,2	+12,4
Интегральный показатель, баллы	Основная	61,9±6,1	87,3±4,5	+25,4
Среднее число технических ошибок	Контрольная	4,1	2,6	−1,5
Среднее число технических ошибок	Основная	4,0	1,3	−2,7

Примечание. В каждой группе n = 24. Изменение — итоговое значение минус исходное. Величины после знака «±» сохранены без пересчёта: в сводных данных не обозначено, являются ли они стандартным отклонением (SD) или стандартной ошибкой (SE). Для сопоставления использованы средние значения.

В контрольной группе прирост интегрального показателя составил 12,4 балла, в основной — 25,4 балла. Разность итоговых средних равнялась 12,5 балла, тогда как разность приростов — 13,0 балла; это разные характеристики сравнения. Среднее число ошибок сократилось соответственно на 1,5 и 2,7. При итоговом оценивании в основной группе оно было на 1,3 меньше.

Таблица 3.

Итоговые результаты отдельных компонентов подготовки

Показатель	Контрольная (n = 24)	Основная (n = 24)	Разность, п. п.
Правильная постановка диагноза, %	79,2	95,8	16,6
Обоснованная лечебная тактика, %	75,0	91,7	16,7
Правильный выбор инструментария, %	79,2	95,8	16,6
Правильная последовательность вмешательства, %	75,0	91,7	16,7
Техника швов без существенных ошибок, %	70,8	87,5	16,7
Самостоятельное принятие решения, %	66,7	87,5	20,8

Примечание. Доли указаны в процентах. Разность между основной и контрольной группами рассчитана по округлённым значениям и выражена в процентных пунктах (п. п.).

По всем шести компонентам итоговая доля в основной группе была выше. Наибольшая межгрупповая разность наблюдалась при самостоятельном принятии решения: 87,5% против 66,7%, то есть 20,8 процентного пункта. Швы без существенных ошибок выполнили 87,5% студентов основной группы и 70,8% контрольной. Эти данные характеризуют итоговое выполнение, а не прирост долей относительно начала семестра.

Обсуждение. Изменения баллов и числа ошибок указывают на одно направление результата: в основной группе улучшение было более выраженным. Возможное объяснение связано с организацией цикла, в котором решение сразу проверяется действием, а обнаруженная ошибка становится предметом коррекции. Значение практики и обратной связи обсуждается и в опубликованных исследованиях [5, 6, 7, 10, 11]. Однако проведённое сравнение относится ко всей программе и не разделяет вклад кейсов, повторений, обратной связи и используемой модели.

Перспективы ИИ и VR/AR-симуляции. Для дальнейшего развития программы предлагается использовать ИИ в разборе клинического рассуждения. Виртуальный пациент мог бы предоставлять сведения по запросу студента, а виртуальный наставник — задавать уточняющие вопросы и помогать разбирать ошибки. Перспективы таких средств обсуждаются в литературе [8, 12]. В предлагаемом варианте преподаватель должен проверять условия кейсов и содержание обратной связи; получение готового решения не заменяет самостоятельного обоснования.

Другой вариант применения ИИ — анализ видеозаписей манипуляций. В работе AIxSuture исследована классификация уровня шовного навыка по видео [9]. Для КС-1 интерес представляет более детальный разбор: владение инструментами, проведение иглы и сопоставление краёв. Такая оценка пока не проверена в нашей программе. Её внедрение потребует сопоставления с экспертными заключениями, прежде чем цифровую обратную связь можно будет использовать для выбора повторного упражнения.

VR-среда позволяет выполнять задания на цифровой анатомической модели, а тактильный интерфейс — дополнительно воспроизводить сопротивление тканей. Возможности и ограничения таких тренажёров рассмотрены в обзорах [2, 4, 13]. Для описанной программы предлагается сочетать тренировку последовательности и пространственной точности в виртуальной среде с последующим выполнением задания на физической модели.

AR дополняет реальное рабочее поле цифровыми ориентирами. В качестве будущего учебного модуля предлагается отображать на фантоме анатомические структуры, этапы задания и направление инструмента. Подсказки можно постепенно отключать, а итоговую самостоятельность проверять без них. Здесь описан вариант развития методики, а не результаты применения AR у участников данного исследования.

Выбор цифрового формата требует проверки на конкретном навыке. В исследовании E. McAlpin и соавт. с участием 58 студентов обучение на физическом манекене обеспечило более высокие результаты переноса навыка местного обезболивания, чем использованный VR-тренажёр [14]. Этот результат относится к определённой системе и заданию, а не ко всем VR-технологиям. Для нашей программы он служит аргументом в пользу проверки цифрового модуля в сочетании с физической моделью, а не его автоматического предпочтения.

Вклад технологий в результат и его дальнейшая оценка. В проведённом исследовании оценена кейс-симуляционная программа, поэтому наблюдаемое улучшение нельзя количественно приписать ИИ, VR или AR. Предлагаемые функции различаются: ИИ может поддерживать обратную связь, VR — тренировку техники, AR — пространственную ориентировку. Это направления следующего этапа работы. Соответствие технологии учебной задаче само по себе ещё не доказывает её дополнительного эффекта.

Для оценки дополнительного эффекта предлагается сравнить базовую программу с тремя вариантами: с ИИ, с одним выбранным VR- или AR-модулем и с сочетанием этих средств. Задания и время практики должны быть сопоставимыми. Различение эффектов

VR и AR потребует самостоятельного сравнения. Оценивать следует итоговый балл с учётом исходного уровня, ошибки, самостоятельность без подсказок и сохранение навыка. Точность цифровой оценки, нагрузку преподавателя и затраты целесообразно учитывать отдельно. Перенос проверяется на новом задании без цифровой помощи.

Заключение. После семестрового цикла у студентов основной группы отмечен больший прирост интегрального показателя: 25,4 балла против 12,4 балла в контрольной. Уменьшение среднего числа технических ошибок также было более выраженным — на 2,7 против 1,5. Итоговая доля студентов, самостоятельно принявших решение, составила соответственно 87,5% и 66,7%. Эти результаты описывают наблюдаемые различия; их статистическая значимость не установлена.

Практическое содержание программы состоит в последовательном соединении клинического обоснования, манипуляции, дебрифинга и повторной попытки. Полученные результаты поддерживают дальнейшее изучение такой организации занятий. Кейс КС-1 и лист наблюдения конкретизируют обратную связь, но не являются валидированной заменой использованной системы оценивания.

ИИ, VR и AR рассматриваются как возможные дополнения к программе, а не как доказанные причины полученных результатов. Следующий этап должен включать уточнение критериев оценивания, сопоставление цифровых модулей при равной учебной нагрузке и проверку сохранения навыков. Перенос в новую учебную ситуацию и клиническую практику требует отдельного подтверждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мусаев У. Ю., Ризаев Ж. А. Интерактивные методы обучения стоматологии в последипломном образовании, как условие стимуляции познавательной деятельности. Российский стоматологический журнал. 2020;24(5):306–311. doi: 10.17816/1728-2802-2020-24-5-306-311.

2. Anas M., Sultan M. U., Umrani M., Hassanein F. E. A. Clinical impact of virtual reality-Based simulation on procedural skill acquisition in dentistry: A systematic review of randomized controlled trials. J Stomatol Oral Maxillofac Surg. 2026;127(4):102788. doi: 10.1016/j.jormas.2026.102788. PMID: 41865885.

3. Association for Dental Education in Europe. The Graduating European Dentist Curriculum. Methods of Teaching and Assessment [Электронный ресурс]. ADEE. URL: https://adee.org/graduating-european-dentist/graduating-european-dentist-curriculum/methods-teaching-and-assessment (дата обращения: 09.10.2026).

4. Bandiaky O. N., Lopez S., Hamon L., Clouet R., Soueidan A., Le Guehennec L. Impact of haptic simulators in preclinical dental education: A systematic review. J Dent Educ. 2024;88(3):366–379. doi: 10.1002/jdd.13426. PMID: 38044266.

5. Cook D. A., Brydges R., Hamstra S. J., Zendejas B., Szostek J. H., Wang A. T., Erwin P. J., Hatala R. Comparative effectiveness of technology-enhanced simulation versus other instructional methods: a systematic review and meta-analysis. Simul Healthc. 2012;7(5):308–320. doi: 10.1097/SIH.0b013e3182614f95. PMID: 23032751.

6. Cook D. A., Hatala R., Brydges R., Zendejas B., Szostek J. H., Wang A. T., Erwin P. J., Hamstra S. J. Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis. JAMA. 2011;306(9):978–988. doi: 10.1001/jama.2011.1234. PMID: 21900138.

7. Dasci S., Schrem H., Oldhafer F., Beetz O., Kleine-Döpke D., Vondran F., Beneke J., Sarisin A., Ramackers W. Learning surgical knot tying and suturing technique – effects of different forms of training in a controlled randomized trial with dental students. GMS J Med Educ. 2023;40(4):Doc48. doi: 10.3205/zma001630.

8. Gadbail A. R., Gondivkar S. M., Yuwanati M. B., Sonone A., Dhamande M., Panchbhai A., Hande A. H., Patil S., Sarode S. C. Effectiveness of artificial intelligence-driven simulation in dental education: a systematic review and meta-analysis of learning outcomes. BMC Med Educ. 2026;26(1):1079. doi: 10.1186/s12909-026-09390-6. PMID: 42121169. PMCID: PMC13339492.

9. Hoffmann H., Funke I., Peters P., Venkatesh D. K., Egger J., Rivoir D., Röhrig R., Hölzle F., Bodenstedt S., Willemer M. C., Speidel S., Puladi B. AIxSuture: vision-based assessment of open suturing skills. Int J Comput Assist Radiol Surg. 2024;19:1045–1052. doi: 10.1007/s11548-024-03093-3.

10. Issenberg S. B., McGaghie W. C., Petrusa E. R., Lee Gordon D., Scalese R. J. Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review. Med Teach. 2005;27(1):10–28. doi: 10.1080/01421590500046924. PMID: 16147767.

11. Leitmann A., Reinert S., Weise H. Surgical suture course for dental students with the Peyton-4-step approach versus the PDCA cycle using video assisted self-monitoring. BMC Oral Health. 2020;20:365. doi: 10.1186/s12903-020-01309-x.

12. Lu B., Wei Z., Li X., Yin Y., Linghu J., Wang Y., Chen L., Zhang Z. Progress of a Novel Dentistry Teaching Model Based on the Combination of Virtual Reality and Artificial Intelligence Technologies in Optimizing Cognitive Load: A Systematic Review. J Dent Educ. 2026;90(5):725–742. doi: 10.1002/jdd.70025. PMID: 40916059.

13. Luai A. F., Zawawi N. D. A., Rusli F., Lin G. S. S., Nagasawa M., Rani H., Park Y. S., Dom T. N. M., Kadir R. A. Impact of Virtual Reality and Haptic Simulators in Dental Education and Training Among Dental Students: An Umbrella Review. Eur J Dent Educ. 2026 Mar 29. Epub ahead of print. doi: 10.1111/eje.70150. PMID: 41906451.

14. McAlpin E., Levine M., Brenner C., Opazo C., Bathini S., Choi S. J. V., Louisville M., Grandhi U. Evaluating the effectiveness of a virtual reality simulation for preclinical local anaesthesia dental education. Eur J Dent Educ. 2025;29(3):542–553. doi: 10.1111/eje.12854. PMID: 36107420.