

УДК 617.34-089-051:616.12-071.3:378.147:004.92

<https://doi.org/10.18705/3034-7270-2025-1-4-38-48>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИМУЛЯТОРА «РАБОТАЮЩЕЕ СЕРДЦЕ» И 3D АНАТОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ПО КАРДИОХИРУРГИИ

Е.М. Трунин¹, В.В. Татаркин¹, А.С. Соколова^{1,2}, Е.О. Стецик¹, Ю.Л. Васильев³, И.Л. Самодова¹, А.В. Сотников¹, В.Г. Качмазов¹, В.А. Яковлев¹, В.С. Томазова¹, П.Е. Исаева¹, А.В. Кощеев¹, А.Н. Андреева¹, А.Б. Физикова¹, С.А. Трегубов³, А. Мохаммад¹, Р. Самарина³

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

³ Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Россия

РЕЗЮМЕ. Формирование мануальных навыков играет критически важную роль в подготовке высококвалифицированных хирургов, способных эффективно манипулировать в ране. Классическое образование на кадаверном материале требует постоянного возобновления и дорогостоящего хранения, что не позволяет полноценно обеспечивать массовое обучение студентов. Этих недостатков лишены цифровые трехмерные анатомические модели и нативный биологический материал животного происхождения, особенно при солидарном использовании специализированных программ для электронной вычислительной машины с целью максимально реалистичной имитации его витальных движений. Сформированы три группы студентов: экспериментальная – изучала теоретический материал при помощи интерактивного стола «Пирогов» и выполняла коронарное шунтирование на биологическом материале, а также с использованием тренажера «Работающее сердце»; группа контроля – изучала теоретический материал по классической методике, мануальные навыки отрабатывала на биологическом материале без использования тренажера и группа сравнения – изучала теоретический материал с помощью интерактивного стола «Пирогов» и выполняла коронарное шунтирование на биологическом материале. С целью повышения реалистичности имитируемых сердечных сокращений разработали и внедрили вспомогательные специализированные программы для ЭВМ. Группа сравнения для обучения использовала интерактивный стол «Пирогов», при этом коронарное шунтирование проводила без предварительного использования тренажера. Для контроля эффективности учебного процесса перед началом обучения во всех группах проведено входное тестирование. По окончании занятий по отдельным темам участники выполняли выходное тестирование и анкетирование. Освоение теоретического материала и практическое выполнение коронарного шунтирования на функционирующем сердце при использовании 3D анатомических комплексов и биологического симулятора, имитирующего сокращения сердца, существенно углубляется при солидарном использовании разработанных программ для электронной вычислительной машины для реалистичной имитации сердечных сокращений. Использованная методология позволяет существенно повысить уровень профессиональных компетенций обучающихся. Продемонстрированные преимущества оригинальной специализированной программы обучения по хирургическому лечению ишемической болезни сердца обусловлены глубоким усвоением теоретического материала и максимально приближенными к реальности условиями мануального тренинга. Широкое распространение предложенной методики обучения позволит значительно ускорить формирование общепрофессиональных и профессиональных компетенций у студентов и клинических ординаторов, проходящих подготовку по кардиохирургии. Повсеместное рутинное применении 3D анатомических комплексов в образовательной практике позволит существенно повысить уровень знаний обучающихся по клинической анатомии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: медицинское образование, цифровые технологии, сердечно-сосудистая хирургия, аортокоронарное шунтирование, анатомические модели

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Трунин Е.М., Татаркин В.В., Соколова А.С. и др. Использование симулятора «Работающее сердце» и 3D анатомических моделей для повышения качества подготовки студентов по кардиохирургии. *Российский хирургический журнал*. 2025;1(4):38–48. <https://doi.org/10.18705/3034-7270-2025-1-4-38-48>; <https://elibrary.ru/WOGDLW>

THE USE OF THE SIMULATOR “WORKING HEART” AND 3D ANATOMICAL MODELS TO IMPROVE THE QUALITY OF TRAINING OF STUDENTS IN CARDIAC SURGERY

E.M. Trunin¹, V.V. Tatarkin¹, A.S. Sokolova^{1,2}, E.O. Stetsik¹, Y.L. Vasiliev³, I.L. Samodova¹, A.V. Sotnikov¹, V.G. Kachmazov¹, V.A. Yakovlev¹, V.S. Tomazova¹, P.E. Isaeva¹, A.V. Koscheev¹, A.N. Andreeva¹, A.B. Fizikova¹, S.A. Tregubov³, A. Mohammad¹, R. Samarina³

¹ North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

² Federal State Budgetary Institution “Almazov National Medical Research Center” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Russia

³ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russia

ABSTRACT. The formation of manual skills plays a critical role in the training of highly qualified specialists who are able to effectively perform surgical interventions. Classical anatomical education cannot fully ensure mass education of students, since biological material cannot be restored and is quickly damaged – digital three-dimensional models are devoid of these disadvantages. Three groups of students were formed: the experimental group, which studied theoretical material using the Pirogov interactive table and performed coronary artery bypass grafting on biological material, as well as using the “Working Heart” simulator; the control group, which studied theoretical material using the classical method and practiced manual skills on biological material without the use of the simulator; and the comparison group, which studied theoretical material using the Pirogov interactive table and performed coronary artery bypass grafting on biological material. To monitor the effectiveness of the educational process, entrance test conducted in all groups before the start of training. At the end of the classes on individual topics, the participants completed exit testing, as well as questionnaires. The depth of mastering the teaching methodology using 3D anatomical complexes and a biological simulator that simulates heart contractions to practice the elements of coronary bypass surgery increases significantly with the combined use of the developed computer programs, allowing students to increase their professional competencies. The obvious advantages of the original specialized training program for the surgical treatment of coronary heart disease are due to both the deep assimilation of theoretical material and our improved practical training.

KEYWORDS: medical education, digital technologies, cardiovascular surgery, aortocoronary bypass, anatomic models

FOR CITATION: Trunin E.M., Tatarkin V.V., Sokolova A.S., et al. The use of the simulator “Working Heart” and 3D anatomical models to improve the quality of training of students in cardiac surgery. *Russian Surgical Journal*. 2025;1(4):38–48. <https://doi.org/10.18705/3034-7270-2025-1-4-38-48>; <https://elibrary.ru/WOGDLW> (In Russ.).

Введение

В медицинских высших учебных заведениях выработка и закрепление хирургических мануальных навыков в учебной программе специалиста представлена недостаточно. Считается, что выпускники медицинских вузов при получении образования в период прохождения ординатуры

по определенному направлению хирургии обладают необходимыми для своей профессиональной карьеры компетенциями. Однако чем выше уровень базовой подготовки в специалитете, тем быстрее молодой хирург достигнет профессиональных компетенций, позволяющих в полном объеме выполнять его трудовые функции, предусмотренные профессиональными стандартами.

При этом подготовка молодых хирургов в условиях проведения операции на пациенте связана с повышением частоты интра- и послеоперационных осложнений и этическими проблемами. В полной мере это имеет отношение к сердечно-сосудистой хирургии. Поэтому средний возраст начала выполнения самостоятельных операций в кардиохирургии в РФ высок и составляет 40–45 лет. Высокий возрастной порог вхождения в специальность обусловлен тем, что кардиохирургические вмешательства, особенно выполняемые на работающем сердце, требуют от хирурга чрезвычайно высокой прецизионности [1, 2].

Сегодня, в условиях дефицита кадаверного материала, изучение анатомии классическим методом затруднено. Доказано, что внедрение новых технологий в образовательные процессы существенно улучшает качество формирования общепрофессиональных и профессиональных компетенций будущих специалистов системы здравоохранения [3, 4]. Хорошей альтернативой изучения анатомии на кадаверном материале является использование цифровых трехмерных анатомических моделей [5, 6]. При этом несмотря на многочисленные достоинства 3D-анатомических комплексов, считаем необходимым сохранять и «золотой стандарт» клинической анатомии – диссекцию [7, 8]. Тактильная память при выполнении препарирования закладывает фундамент, необходимый для развития клинических мануальных навыков. В связи с этим предложен модульный подход к преподаванию клинической анатомии, где диссекция и работа на анатомическом и биологическом материале являются завершающим этапом обучения, а интерактивные системы – промежуточным.

В процессе освоения методики выполнения оперативного вмешательства отработка мануальных навыков в большинстве случаев проходит на нефиксированных органокомплексах животных. Несмотря на преимущества биологического материала перед представленными на рынке учебными хирургическими тренажерами и манекенами из синтетических полимерных материалов, у него имеются существенные недостатки в виде отсутствия физиологических движений и кровообращения. Это не позволяет реалистично моделировать клинические ситуации в учебной операционной. При методике коронарного шунтирования (КШ) на работающем сердце хирург проводит манипуляции на коронарной артерии, имеющей относительно небольшой диаметр и атеросклеротически измененную стенку на сокращающемся сердце [9–11]. Поэтому критически важным в конструкции тренажера для овладения техникой КШ на работающем сердце является имитация сердечных сокращений. Исходя из изложенного можно утверждать, что актуальной задачей высшей школы в области хирургии как в специалитете,

так и на последипломном этапе обучения, является организация качественного интерактивного теоретического изучения клинической анатомии в тесном сочетании с реалистичным симуляционным обучением, что обусловило необходимость проведения этого исследования.

Цель работы – повысить качество формирования мануальных навыков и теоретической подготовки у обучающихся по разделу «сердечно-сосудистая хирургия» посредством внедрения в учебный процесс оригинальных образовательных технологий.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 150 обучающихся в специалитете лиц мужского и женского пола двух медицинских вузов: СЗГМУ им. И.И. Мечникова МЗ РФ – 100 человек, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова МЗ РФ – 50. Все прошли обучение по дисциплине «топографическая анатомия и оперативная хирургия».

Отбор для участия в исследовании проводили в два этапа. Первый этап – тестирование, состоящее из 26 вопросов по трем ключевым разделам кардиохирургии (анатомия сердца, ишемическая болезнь сердца, хирургические вмешательства на сердце); оценку знаний проводили по десятибалльной шкале. Второй этап – оценка базовых мануальных навыков на специальных тренажерах из силиконового полимера (рис. 1).

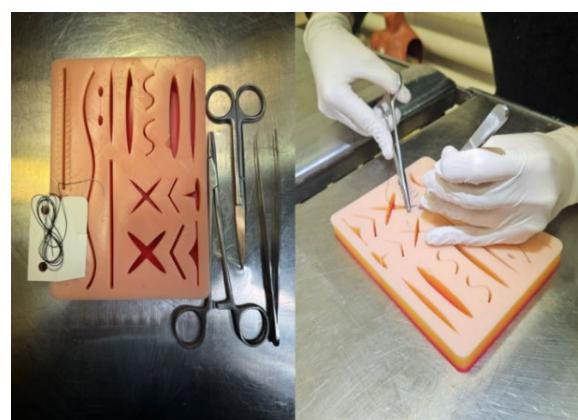


Рис. 1. Оценка базовых мануальных навыков
Fig. 1. Assessment of basic manual skills

По результатам первого этапа отобрано 40 студентов с лучшими результатами в СЗГМУ им. И.И. Мечникова и 20 студентов в Первом МГМУ им. И.М. Сеченова, средний балл ответов на вопросы тестирования которых составил ($7,38 \pm 0,52$) из 10 возможных. Оценку базовых мануальных навыков осуществляли по десятибалльной шкале по следующим критериям: владение хирургическими инструментами, качество и скорость наложения хирургических швов, навыки завязывания хирургических узлов.

После проведения второго этапа отобрано 30 студентов (20 учащихся СЗГМУ им. И.И. Мечникова и 10 учащихся Первого МГМУ им. И.М. Сеченова), которые были разделены случайным образом на три группы: контрольную, экспериментальную (по 10 студентов в каждой в СЗГМУ им. И.И. Мечникова) и группу сравнения (10 обучающихся из университета Первого МГМУ им. И.М. Сеченова).

Участников каждой группы в обоих вузах разделили на бригады по пять человек. Тренировки по овладению мануальных навыков созданной экспериментальной группы проводили на биологическом материале. Также занятия включали использование симулятора, имитирующего сокращения сердца. Принцип работы тренажера заключается в том, что по системе трубок в камеры сердца с помощью аппарата искусственной вентиляции легких в течение короткого отрезка времени с определенными интервалами нагнетается воздух, что позволяет имитировать сокращения сердца с заданной частотой. В конструкцию также входит система катетеров, используемых для селективной канюляции коронарных артерий, обеспечивающих моделирование кровообращения в этих артериях (рис. 2).

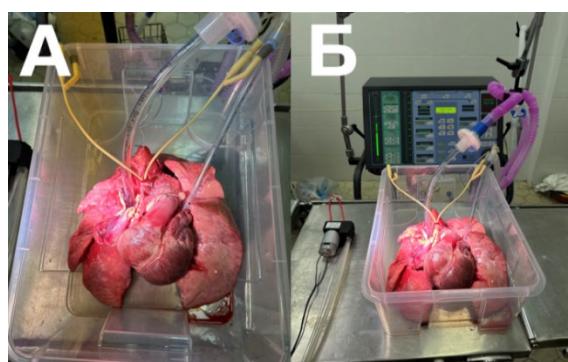


Рис. 2. Тренажер, имитирующий сокращения сердца: а – вид сверху; б – вид спереди

**Fig. 2. A simulator imitating heart contraction:
a – top view; b – front view**

С целью обеспечения адекватной работы аппаратного комплекса применяли разработанные программы для ЭВМ, позволяющие рассчитать необходимые параметры настройки аппарата искусственной вентиляции легких, и моделировать необходимую частоту сердечных сокращений^{1,2}

Представители экспериментальной группы проходили обучение по следующему плану:

- участие в двух семинарах по анатомии сердца с использованием интерактивного стола «Пирогов»;

- участие в двух семинарах, посвященных выполнению операции КШ;
- проведение 10 учебно-тренировочных операций КШ на биологическом материале;
- выполнение пяти учебно-тренировочных операций КШ с использованием биологического симулятора, имитирующего сокращения сердца.

Представители контрольной группы проходили обучение по следующему плану:

- участие в двух семинарах по анатомии сердца с использованием классических методик обучения;
- участие в двух семинарах, посвященных выполнению операции КШ;
- выполнение 15 учебно-тренировочных операций КШ на биологическом материале.

План обучения в группе сравнения представлял собой:

- участие в двух семинарских занятиях по анатомии сердца с использованием интерактивного стола «Пирогов»;
- участие в двух семинарах, посвященных выполнению операции КШ;
- выполнение 15 тренировочных операций КШ на биологическом материале (рис. 3).

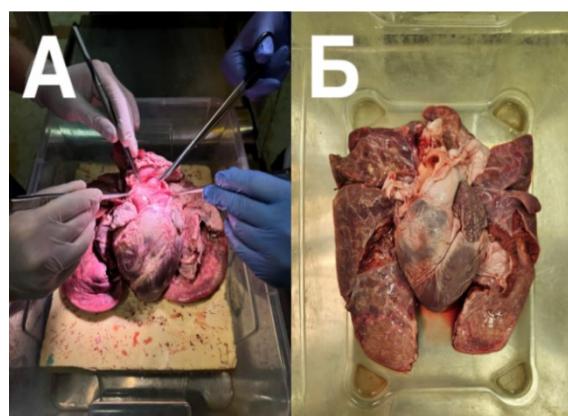


Рис. 3. Тренировка на биологическом материале: а – модель (свиной органокомплекс) – сердце-легкие;

б – тренировка на биологическом материале

**Fig. 3. Training on biological material:
a – model (porcine organ complex) – heart-lungs; b – training on biological material**

Подготовка к каждому занятию во всех группах состояла в самостоятельном изучении теоретического материала с последующим проведением докладов и их обсуждением с участием высококвалифицированного сердечно-сосудистого хирурга. Занятия семинарского типа проводили под руководством как специалистов в области

¹ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025614747 РФ. Программа-помощник для настройки тренажера «сердце-легкие 1.0». № 2025614747. Заявл. 06.02.2025. Опубл. 25.02.2025.

² Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025613878 РФ. Программа-помощник для настройки тренажера «сердце-легкие 2.0». Заявл. 06.02.2025. Опубл. 17.02.2025.

фундаментальных медицинских дисциплин (топографическая анатомия и оперативная хирургия), так и действующих сердечно-сосудистых хирургов. По окончании комплекса учебной подготовки все вошедшие в исследование группы студентов прошли выходное тестирование, состоящее из 30 вопросов по разделам: хирургическая анатомия коронарного русла; ишемическая болезнь сердца; особенности выполнения КШ на работающем сердце. Для получения объективных сведений и удобства анализа результатов всех форм тестирования в динамике, баллы, полученные студентами за входное и выходное тестирования, рассчитывали с помощью специальной формулы, в которой максимальное количество баллов приравнивалось к 10. После тестирования участвующие в исследовании группы выполнили операции КШ на живых свиньях породы «Ландрас», массой 3,5–4,3 кг.

Статистическую обработку полученных результатов проводили на ПК с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2019, Jamovi 1.0.1.9. Для оценки распределения изученных качественных характеристик использовали критерий Shapiro-Wilk's W test ($p<0,05$).

Результаты исследования

Анализ выходного тестирования показал, что уровень теоретической подготовки после обучения в изученных группах различался (табл. 1).

Таблица 1. Оценка средних значений входного и выходного тестирований в экспериментальной, сравнительной и контрольной группах (в баллах)

Table 1. Mean pre- and post-test scores in the experimental, comparison, and control groups (points)

| Группы Тестирование | Экспериментальная | Сравнения | Контрольная |
|---|-------------------|-----------|-------------|
| Входное | 7,4* | 7,1* | 7,5* |
| Выходное | 9,1** | 8,9** | 8,3** |
| Прирост баллов правильного выполнения к исходному | 1,7 | 1,8 | 0,8 |

Примечания: * p -value = 0,79852, X^2 = 0,45 (The Friedman Test, $p<0,05$), ** p -value = 0,3413, X^2 = 2,15 (The Friedman Test, $p<0,05$).

Notes: * p -value = 0.79852, X^2 = 0.45 (The Friedman Test, $p<0,05$), ** p -value = 0.3413, X^2 = 2,15 (The Friedman Test, $p<0,05$).

Таблица 2. Результаты оперативных вмешательств на живом биологическом материале экспериментальной, сравнительной и контрольной групп

Table 2. Results of surgical interventions on live biological material in the experimental, comparison, and control groups

| Группа Результаты | Экспериментальная (%) | Сравнения (%) | Контрольная (%) |
|------------------------------------|-----------------------|---------------|-----------------|
| Успешные оперативные вмешательства | 7 (50) | 4 (28,6) | 1 (7,1) |
| Общее количество летальных исходов | 7 (50) | 10 (71,4) | 13 (92,9) |
| Итого, % | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Качество теоретической подготовки оказалось более высоким в группах, где при обучении использовали интерактивные 3D анатомические комплексы. В экспериментальной группе средний балл выходного тестирования составил 9,1, в группе сравнения – 8,9, в контрольной группе – 8,3 балла. Отмечено, что прирост количества баллов за правильное выполнение заданий тестирования к исходному в экспериментальной (1,7) и сравнительной (1,8) группах оказался выше, чем в контрольной группе (0,8).

Несмотря на исходно равный уровень прохождения входного тестирования, результаты выходного тестирования оказались выше в экспериментальной и сравнительной группах. Мы связываем это с углубленным анализом представленного обучающимся материала при использовании интерактивных 3D анатомических комплексов «Пирогов». Цифровые трехмерные анатомические модели позволили детальнее изучить особенности топографии сердца, сердечно-сосудистой системы в целом и улучшить усвоение материала при освоении тем «Ишемическая болезнь сердца», «Хирургические вмешательства на сердце».

При анализе результатов операций на живом биологическом материале отметили значительные различия в трех исследованных группах учащихся (табл. 2).

Общая выживаемость животных, оперированных экспериментальной группой, составила 50 %, в группе сравнения – 28,6 %, контрольной – 7,1 %. К сложностям оперативного приема экспериментальная группа была подготовлена

лучше, чем группы сравнения и контроля. Гибель животного во время осуществления хирургического приема в экспериментальной группе составило 7 случаев, в группе сравнения – 10, в группе контроля – 13 (табл. 3).

Таблица 3. Гибель животных на разных этапах оперативного вмешательства в экспериментальной, сравнительной и контрольной группах

Table 3. Animal mortality at different stages of the surgical intervention in the experimental, comparison, and control groups

| Этап операции \ Группа | Экспериментальная (%) | Сравнения (%) | Контрольная (%) |
|------------------------|-----------------------|---------------|-----------------|
| Хирургический доступ | 3 (42,9) | 3 (30) | 5 (38,5) |
| Хирургический прием | 4 (57,1) | 7 (70) | 8 (61,5) |
| Итого, % | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Опыт работы на сокращающемся сердце позволил экспериментальной группе успешно выполнить операции КШ по методике Off-pump на семи свиньях, в отличии от группы сравнения, которая успешно выполнила четыре операции и группы

контроля, успешно выполнившей только одно оперативное вмешательство.

Выявлено, что объем Интраоперационной кровопотери различался во всех исследуемых группах (табл. 4).

Таблица 4. Объем кровопотери во время оперативных вмешательств на живом биологическом объекте в контрольной, экспериментальной и группе сравнения (мл)

Table 4. Volume of blood loss during surgical interventions on a live biological object in the control, experimental, and comparison groups (ml)

| Группа \ Операция | Экспериментальная | | Сравнения | | Контрольная | |
|-------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| | 1 бригада | 2 бригада | 1 бригада | 2 бригада | 1 бригада | 2 бригада |
| I | 400 | 525 | 400 | 600 | 650 | 700 |
| II | 400 | 450 | 350 | 500 | 720 | 600 |
| III | 350 | 425 | 400 | 400 | 550 | 500 |
| IV | 275 | 350 | 450 | 350 | 450 | 450 |
| V | 250 | 250 | 280 | 300 | 350 | 650 |
| VI | 175 | 200 | 200 | 250 | 500 | 400 |
| VII | 80 | 100 | 200 | 295 | 350 | 400 |

При первом оперативном вмешательстве во всех изучаемых группах кровопотеря оказалась максимальной: в экспериментальной группе в первой хирургической бригаде – 400 мл, во второй бригаде – 525 мл; в группе сравнения в первой бригаде – 400 мл, во второй бригаде – 600 мл; в контрольной группе в первой бригаде – 750 мл, во второй бригаде – 700 мл. Высокая степень кровопотери связана в основном с ошибками

в выполнении хирургического доступа. При последующих операциях отмечена тенденция к уменьшению уровня кровопотери. Интраоперационная кровопотеря на седьмой операции, по сравнению с первой, уменьшилась: в экспериментальной группе в среднем на 81 %, в группе сравнения – на 49,6 %, группе контроля – на 44,5 %. На рис. 4 представлены графически изменения уровней интраоперационной кровопотери.

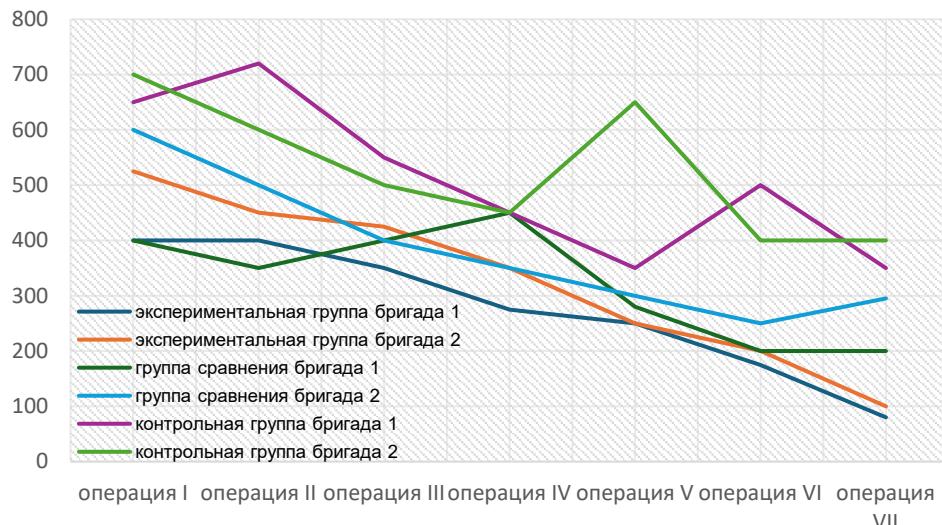


Рис. 4. Сравнение объема интраоперационной кровопотери при оперативных вмешательствах в контрольной, экспериментальной и группе сравнения, мл

Fig. 4. Comparison of intraoperative blood loss volume during surgical interventions in the control and experimental groups, ml

Объем интраоперационной кровопотери связан в первую очередь с проведением коронарной артериотомии. Продолжительность кровотечения при ее выполнении зависит от скорости установки интракоронарного шунта. Экспериментальная группа обучающихся показала наименьший уровень интраоперационной кровопотери, так как тренировалась с использованием биологического симулятора, имитирующего сокращения сердца.

Обучающиеся этой группы быстрее справлялись с установкой шунта, существенно снижая уровень кровопотери.

При анализе времени формирования анастомоза выявлены некоторые отличия этого показателя во всех группах обучающихся. Время, затраченное на наложение сосудистого анастомоза, представлено в таблице 5.

Таблица 5. Время, затраченное на формирование сосудистого анастомоза при вмешательстве на живом биологическом объекте в контрольной, экспериментальной и группе сравнения (мин)

Table 5. Time taken to form a vascular anastomosis during intervention on a live biological object in the control, experimental, and comparison groups (min)

| Группа Операция | Экспериментальная | | Сравнения | | Контрольная | |
|--------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| | 1 бригада | 2 бригада | 1 бригада | 2 бригада | 1 бригада | 2 бригада |
| I | Л/и | Л/и | Л/и | Л/и | Л/и | Л/и |
| II | Л/и | 41 | 56 | Л/и | Л/и | Л/и |
| III | 40 | 45 | 49 | 58 | Л/и | 57 |
| IV | 38 | 39 | 48 | 55 | 59 | 51 |
| V | 42 | 40 | 45 | 51 | 56 | 54 |
| VI | 34 | 36 | 38 | 40 | 47 | 44 |
| VII | 23 | 27 | 26 | 35 | 38 | 39 |

Примечание: Л/и – летальный исход.

Note: Л/и – lethal outcome.

В начальном периоде освоения мануального навыка наложения сосудистого анастомоза на работающем сердце свиньи (первая операция) во всех группах лабораторное животное погибало до момента формирования анастомоза, что связано

с отсутствием навыков в осуществлении хирургического доступа и обеспечении интраоперационного гемостаза. В последующем (вторая операция) обучающимся во всех группах удавалось накладывать сосудистые анастомозы на работающем

сердце. Отмечена тенденция к уменьшению времени необходимого на формирование анастомоза. В экспериментальной группе и группе сравнения время формирования анастомоза оказалось меньше, чем в контрольной. Эта тенденция сохранилась и во время третьей операции, что свидетельствует о стабильно превосходящем результате у групп, использующих биологический симулятор, имитирующий сокращения сердечной мышцы в условиях, максимально имитирующих реальную обстановку работы в операционной. Приобретенные при тренинге навыки позволили этой группе организованно и корректно выполнять сложную хирургическую манипуляцию на работающем сердце, что обеспечило сокращение времени, затраченного на формирование сосудистого анастомоза и вмешательства в целом.

Результаты

Результаты входного тестирования в экспериментальной, сравнительной и контрольной группах не различались ($7,38 \pm 0,52$). Это свидетельствует об изначально одинаковом уровне подготовки обучающихся в указанных группах.

Использование только классических методик обучения показало наименьший уровень усвоения теоретической подготовки студентами оригинальной специализированной программы обучения по хирургическому лечению ишемической болезни сердца – результат выходного тестирования в контрольной группе $8,19 \pm 0,56$. При методике подготовки с использованием интерактивного 3D анатомического комплекса результаты выходного тестирования в экспериментальной группе составили $9,02 \pm 0,57$, в группе сравнения – $8,94 \pm 0,53$. Глубина освоения материала при использовании методики обучения на 3D анатомическом комплексе и биологическом симуляторе для отработки элементов операции КШ существенно увеличивается при солидарном использовании оригинальных программ для ЭВМ, позволяющих моделировать необходимую частоту сердечных сокращений биологического тренажера. Предложенный образовательный комплекс позволяет повысить уровень профессиональных компетенций обучающихся. Очевидные преимущества оригинальной специализированной программы обучения по хирургическому лечению ишемической болезни сердца подтверждаются количеством успешно выполненных обучающимися оперативных вмешательств на живых биологических объектах. Они обусловлены глубоким усвоением теоретического материала – по результатам выходного тестирования средний балл в экспериментальной группе составил 9,1, в группе сравнения – 8,9, в контрольной – 8,3; и сравнительно быстрым формированием сложных мануальных навыков – среднее время формирования анастомоза

в экспериментальной группе во время проведения седьмой операции составило 25 мин, в группе сравнения – 30,5, в контрольной – 35,5.

Обсуждение

Повышение качества преподавания медицинских дисциплин, в том числе такого сложного раздела, как кардиохирургия, является первостепенной задачей специализированных вузов. Классические методики обучения клинической анатомии на кадаверном материале малодоступны, сложны и не удовлетворяют современным требованиям. Исследование доказывает, что использование для изучения клинической анатомии 3D анатомических комплексов является во многом доступной альтернативой классическим методикам преподавания, позволяющим углубить теоретические знания по изучаемому предмету при сохранении пространственного восприятия топографии изучаемой анатомической области.

Теоретическое изучение клинической анатомии следует сочетать с формированием и закреплением мануальных навыков. Такое сочетание не только резко повышает мотивацию обучающихся, но и позволяет на доклиническом этапе выработать компетенции, необходимые в практической работе кардиохирурга. Проведенное исследование доказывает, что разработанный на основе нативных биологических тканей тренажер «Работающее сердце» способен реалистично имитировать сердечные сокращения и кровоток в коронарных артериях, что делает его уникальным звеном в практической подготовке кардиохирургов. Использование в обучении специалистов оригинального тренажера позволило при операции на живом биологическом объекте сократить интраоперационную кровопотерю на 36,5 %, повысить скорость наложения сосудистого анастомоза на 16 мин. И в семь раз снизить интраоперационную гибель экспериментальных животных. Помещение предложенного симулятора внутрь манекена, имитирующего грудную клетку с выполненным хирургическим доступом, позволит еще повысить реалистичность проводимого тренинга. Подобные устройства могут существенно улучшить качество образовательного процесса, делая обучение более реалистичным и практикоориентированным. Тренажеры «Работающее сердце» могут быть полезными мотивированным на работу в хирургических специальностях студентам медицинских вузов, клиническим ординаторам, обучающимся по соответствующим специальностям, и начинающим кардиохирургам.

Таким образом, создание современных образовательных комплексов способствует повышению качества теоретической подготовки специалистов в сфере кардиохирургии и быстрому формированию необходимых для специалистов

мануальных навыков путем трехмерного воспроизведения топографии анатомических объектов и имитации реальных условий, создающихся в процессе операции.

Заключение

Углубленное изучение теоретического материала и формирование мануальных навыков на биологических тренажерах позволяет развить профессиональные компетенции в кардиохирургии уже на этапе специалитета. Совершенствование методов преподавания теоретического материала и отработки элементов хирургической техники посредством внедрения новых интерактивных технологий и качественных реалистичных симуляторов существенно сокращает время на усвоение материала и формирование устойчивых профессиональных навыков и значительно увеличивает продуктивность образовательного процесса. Предложенный подход к образовательному процессу в клинической анатомии и оперативной хирургии увеличивает заинтересованность и мотивацию обучающихся к углубленному изучению хирургических дисциплин, повышает качество формирования мануальных навыков и уровень теоретической подготовки, а также позволит молодым специалистам совершить дебют в самостоятельной профессиональной деятельности в более раннем возрасте.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Соответствие нормам этики. Авторы заявляют об отсутствии использования генеративного искусственного интеллекта.

Compliance with ethical principles. The authors declare no use of Generative AI in the preparation of this manuscript.

Список литературы / References

1. Шалдыбин П.Д., Матвеева Е.С., Давыдов И.В. Кардиохирургия от момента ее зарождения до наших дней. *Вестник СМУС74.* 2018;3(22):40–45.
Shal'dybin PD, Matveeva ES, Davydov IV. Cardiac surgery from the moment of its origin to the present day. *Bulletin of SMUS74.* 2018;3(22):40–45. (In Russ.).
2. Шихвердиев Н.Н., Хубулава Г.Г. Кардиохирургический минимум для кардиологов. СПб., 2022. 524 с.
Shikhverdiev NN, Khubulava GG. Cardiac surgery minimum for cardiologists. St. Petersburg, 2022, 524 p. (In Russ.).
3. Исакова М.К., Ережепова Г.Н. Использование интерактивного стола Пирогова при обучении студентов-стоматологов. *Актуальные проблемы теоретической и клинической медицины.* 2022;4:51–55. <https://doi.org/10.24412/2790-1289-2022-4-5155>.
Iskakova MK, Erezhepova GN. The use of Pirogov's interactive table in teaching dental students. *Current problems of theoretical and clinical medicine.* 2022;4:51–55. <https://doi.org/10.24412/2790-1289-2022-4-5155>. (In Russ.).
4. Достижения морфологии: внедрение новых технологий в образовательный процесс и практическую медицину / под общ. ред. Н.А. Трушель // Сб. науч. ст., посвященный 75-летию профессора П.Г. Пивченко, сентябрь 2022 г., Минск, Респ. Беларусь. Минск: БГМУ, 2022. 430 с.
Achievements of morphology: the introduction of new technologies into the educational process and practical medicine. Ed. by NA Trushel. Collection of scientific articles, dedicated to 75th anniversary of Professor PG Pivchenko, September 2022 Minsk, Rep. Belarus. Minsk: BSMU, 2022, 430 p. (In Russ.).
5. Alasmari WA. Medical students' feedback of applying the virtual dissection table (Anatomage) in learning anatomy: A cross-sectional descriptive study. *Adv Med Educ Pract.* 2021;12:1303–1307. <https://doi.org/10.2147/AMEP.S324520>.
6. Royer DF, Kessler R, Stowell JR. Evaluation of an innovative hands-on anatomy-centered ultrasound curriculum to supplement graduate gross anatomy education. *Anat Sci Educ.* 2017;10(4):348–362. <https://doi.org/10.1002/ase.1670>.
7. Abdulrahman KAB, Jumaa MI, Hanafy SM, et al. Students' perceptions and attitudes after exposure to three different instructional strategies in applied anatomy. *Adv Med Educ Pract.* 2021;12:607–612. <https://doi.org/10.2147/AMEP.S310147>.
8. Каштанов А.Д., Стецик Е.О., Дыдыкин С.С. и др. Инновации медицинского образования в хирургии желудочно-кишечного тракта с использованием интерактивных анатомических столов. *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии.* 2024;34(5):17–31.
Kashtanov AD, Stetsik EO, Dydykin SS, et al. Innovations in medical education in gastrointestinal surgery using interactive anatomical tables. *Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, and Coloproctology.* 2024;34(5):17–31. (In Russ.).
9. Белов Ю.В. Искусство коронарной хирургии: для целевостремленных. М.: ООО «Мед. информ. Агентство», 2009. 186 с.
Belov YuV. The art of coronary surgery: for the motivated. Moscow: OOO "Med. inform. Agency", 2009, 186 p. (In Russ.).
10. Мурджани Н., Виола Н., Сунил К. Основные вопросы кардиохирургии. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2023. 422 с.
Murjani N, Viola N, Sunil K. The main issues of cardiac surgery. Moscow: GEOTAR-Media, 2023, 422 p. (In Russ.).

Авторы

Трунин Евгений Михайлович – д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой оперативной и клинической хирургии с топографической анатомией имени С.А. Симбирцева, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, Evgeniy.Trunin@szgmu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2452-0321>

Татаркин Владислав Владимирович – канд. мед. наук, доцент, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, Vladislav.Tatarkin@szgmu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9599-3935>

Соколова Анна Сергеевна – канд. мед. наук, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации; Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, a.s.sokolova84@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7100-0951>

Стецик Егор Олегович – Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, egorst2564@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5865-1629>

Васильев Юрий Леонидович – д-р мед. наук, доцент, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Россия, vasilev_yu_l@staff.sechenov.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3541-6068>

Самодова Инна Леонидовна – канд. мед. наук, доцент, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, Samodova.Inna@szgmu.ru

Сотников Артем Владимирович – канд. мед. наук, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, artem.sotnikov@szgmu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1831-7025>

Качмазов Владислав Германович – Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, kachmaz013@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-6230-7748>

Яковлев Владимир Артемович – Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, Myvibe13@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7815-1535>

Томазова Вероника Сергеевна – Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, tomazovaveronika@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-9672-8010>

Исаева Полина Евгеньевна – Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, isaevapolina1001@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-8293-6622>

Кощеев Антон Викторович – канд. мед. наук, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, Anton.Koscheev@szgmu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1803-5298>

Андреева Анастасия Николаевна – Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, Mmm.andreeva7728@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8871-3317>

Физикова Алия Беслановна – Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, aliya_fizikova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-9621-2611>

Трегубов Сергей Андреевич – Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Россия, tregubovs01@yandex.ru, <https://orcid.org/000-0001-7315-8237>

Мохаммад Абугхали – Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, abogalimood@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-7815-1535>

Самарина Ромина – Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Россия, sarmadianr7@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-9612-7442>

Authors

Trunin Evgeny M. – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Operative and Clinical Surgery with Topographic Anatomy named after S.A. Simbirtsev, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia, Evgeniy.Trunin@szgmu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2452-0321>

Tatarkin Vladislav V. – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia, Vladislav.Tatarkin@szgmu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9599-3935>

Sokolova Anna S. – Candidate of Medical Sciences, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov of the Ministry of Health of the Russian Federation; Almazov National Medical Research Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia, a.s.sokolova84@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7100-0951>

Stetsik Egor O. – North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia, egorst2564@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5865-1629>

Vasiliev Yuri L. – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russia, vasilev_yu_l@staff.sechenov.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3541-6068>

Samodova Inna L. – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia, Samodova.Inna@szgmu.ru

Sotnikov Artyom V. – Candidate of Medical Sciences, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia, artem.sotnikov@szgmu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1831-7025>

Kachmazov Vladislav G. – North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia, kachmaz013@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-6230-7748>

Yakovlev Vladimir A. – North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia, Myvibe13@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7815-1535>

Tomazova Veronika S. – North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia, tomazovaveronika@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-9672-8010>

Isaeva Polina E. – North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia, isaevapolina1001@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-8293-6622>

Koscheev Anton V. – Candidate of Medical Sciences, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia, Anton.Koscheev@szgmu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1803-5298>

Andreeva Anastasia N. – North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia, Mmm.andreeva7728@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8871-3317>

Fizikova Aliya B. – North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia, aliya_fizikova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-9621-2611>

Tregubov Sergey A. – I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russia, tregubovs01@yandex.ru, <https://orcid.org/000-0001-7315-8237>

Mohammad A. – North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia, abogalimood@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-7815-1535>

Samarina R. – I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russia, sarmadianr7@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-9612-7442>

Поступила 30.06.2025

Принята 16.08.2025

Опубликована 23.12.2025

Received 30.06.2025

Accepted 16.08.2025

Publication 23.12.2025