

Э. А. Доценко¹, М. В. Шолкова¹, Ю. В. Репина¹,
Г. М. Хващевская¹, Т. П. Новикова¹, И. И. Бураков¹,
А. В. Морозов²

ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИМУЛЯТОРОВ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ-МЕДИКОВ НАВЫКАМ АУСКУЛЬТАЦИИ

УО «Белорусский государственный медицинский университет»,¹
ООО «Proven Solution», г. Минск, Беларусь²

Обучение в виртуальной реальности (VR) применяется в различных областях медицинского образования.

Обучение аускультации предполагает освоение теоретического материала и работу у постели больного. Оптимально, когда студент приходит к пациенту, имея минимальные навыки распознавания звуков.

Целью проекта является сравнение эффективности обучения аускультации легких и сердца с использованием традиционных методов обучения и технологий виртуальной реальности.

Материалы и методы. Обучение аускультации сердца и легких проводилось с использованием гарнитуры Oculus Quest 2 с программным обеспечением виртуального стетоскопа. В исследовании приняли участие 77 студентов 3 курса. Студенты были разделены на 2 группы: обучавшихся в виртуальной реальности (ВР, $n = 28$), и студенты, обучавшиеся без использования виртуальных технологий (СП, $n = 49$).

Результаты. Студенты, обученные в виртуальной реальности, сразу после окончания обучения распознавали звуки лучше, чем студенты, обученные по обычным технологиям (54,5 против 38,3 %). Влажные хрипы в группе ВР распознавались существенно хуже. Распознавание звуков при аускультации сердца в группе протокола ВР было несколько лучше по сравнению с группой протокола СП (44,5 % против 36,8 %).

Контроль сохранности знаний проводился через 3 месяца: отдаленные результаты были лучше в группе ВР.

Заключение. Мы рассматриваем этот проект как пилотный, который позволит нам в будущем провести большое, хорошо организованное клинико-педагогическое исследование.

Ключевые слова: эффективность симуляторов виртуальной реальности.

E. A. Dotsenko, M. V. Sholkava, Y. V. Repina, G. M. Chvashevskaya,
T. P. Novikova, I. I. Burakov, A. V. Morozov

PEDAGOGICAL EFFICIENCY OF VIRTUAL REALITY SIMULATORS FOR TEACHING MEDICAL STUDENTS AUSCULTATION SKILLS

Virtual reality (VR) training is used in various areas of medical education.

Auscultation training involves mastering theoretical material and working at the patient's bedside. It is optimal when a student comes to a patient with minimal sound recognition skills.

The aim of the project is to compare the effectiveness of lung and heart auscultation training using traditional teaching methods and virtual reality technologies.

Materials and Methods. Cardiac and pulmonary auscultation training was conducted using the Oculus Quest 2 headset with virtual stethoscope software. The study involved 77 third-year students. The students were divided into 2 groups: those trained in virtual reality (VR, $n = 28$) and those trained without the use of virtual technologies (CS, $n = 49$).

Results and discussion. Students trained in virtual reality recognized sounds better immediately after completing the training than students trained using conventional technologies (54.5 versus 38.3 %). Wet rales were recognized significantly worse in the VR group. Recognition of sounds during cardiac auscultation in the VR protocol group was slightly better compared to the SP protocol group (44.5 % versus 36.8 %). Knowledge retention was monitored after 3 months: long-term results were better in the VR group.

Conclusion. We consider this project as a pilot one, which will allow us to conduct a large, well-organized clinical and pedagogical study in the future.

Key words: efficiency of virtual reality simulators.

Применение симуляционных технологий в медицине и медицинском образовании имеет долгую историю. По мнению G. Alinier [1] уровень ее развития сегодня характеризуется наличием интерактивного взаимодействия между оператором и симуляционным устройством. Такое взаимодействие достигается применением цифровых технологий и может быть реализовано несколькими путями. Во-первых, когда компьютерная программа жестко ориентирована на конкретный материальный носитель-матрицу: например, манекены, моделирующие определенные участки тела человека и реагирующие на ограниченный круг манипуляций оператора.

Второй путь, который активно развивается последнее десятилетие – симуляторы в виртуальной реальности. Обучение в виртуальной реальности используются в анатомии [6], общении с пациентами [5], приема объективного структурированного клинического экзамена [3] и др.

Какой подход лучше? Однозначно сказать нельзя. Так, применение симуляторов на основе материального носителя (манекена) дает обучаемому «эффект» присутствия, когда оператор получает тактильные ощущения, чувствуя аналог ткани, органа; это важно при обучении технике инвазивных вмешательств. Вместе с тем, имеет место жесткая привязка программного обеспечения к механической матрице, что ограничивает возможности симулятора выполнением одной или нескольких манипуляций.

Технологии виртуальной реальности, наоборот, не дают ощущения тактильного контакта, но сфера применения определяется только программным обеспечением. Кроме того, технологии виртуальной реальности значительно

уменьшают пространство, необходимое для размещения симулятора и, в перспективе, могут стать дешевле. Достоинства и недостатки применения виртуальной реальности в медицине и образовательном процессе представлены в обзоре [2, 4, 14, 16].

Распознавание звуков при аускультации легких и сердца относится к фундаментальным навыкам врача при непосредственном обследовании пациента. Обучение навыкам аускультации подразумевает овладение техникой проведения аускультации, навыками распознавания выслушанного звука и умения классифицировать последний в соответствии с общепринятой номенклатурой.

Классический подход к обучению аускультации предусматривает освоение теоретического материала (включая работу на симуляторах) и затем работу у постели больного. В последнем случае мы сталкиваемся с рядом проблемами, которые затрудняют обучение: наличие в клинике пациента с тематической патологией, этические проблемы (согласие пациента на обследование студентом, высокое соотношение числа студенты: пациент, кратковременность выполнения манипуляции (может быть обусловлено тяжестью состояния пациента, отказом пациента от сотрудничества). Кроме того, в современных условиях серьезные ограничения накладывает пандемия COVID-19 [15].

Оптимально, когда студент приходит к пациенту, уже обладая минимальными навыками распознавания звуков; иными словами, чтобы он мог сопоставить выслушанные звуки с той коллекцией звуков, которая находится у него в памяти.

Эффективность применения симуляционных технологий при подготовке студента-медика активно исследуется. Например, мета-ана-

лиз [11] включает 13 работ, где симуляционные технологии использовались в качестве дополнительных к традиционным «у постели», средств обучения. Авторы делают вывод, что симуляционные технологии важны в подготовке студента медика, однако сегодня можно говорить лишь о трендах к более высокой эффективности симуляционных технологий по сравнению с традиционными методами обучения.

Следует отметить, что многие исследования эффективности симуляционных технологий касаются оценки удовлетворенности студентов данными технологиями [15], улучшению качества подготовки студентов по мере внедрения симуляционных технологий [8].

Цель проекта – сравнить эффективность обучения аускультации легких и сердца с использованием традиционных методов обучения и технологий виртуальной реальности.

Материалы и методы

Технология виртуальной реальности (VR).

Для обучения аускультации применялась гарнитура «Oculus Quest 2» с программным обеспечением, позволяющим проводить аускультацию сердца и легких с использованием виртуального стетоскопа (Proven Reality, Республика Беларусь, Минск).

Гарнитура виртуальной реальности «Oculus Quest 2» имела следующие характеристики: разрешение дисплея 1832×1920 на каждый

глаз, частота обновления 90 Гц, оперативная память 6 ГБ, отслеживание окружающего пространства и движений пользователя осуществляется с помощью камер, угол обзора 100°. Изображение адаптируется к движениям пользователя (устройство самостоятельно обеспечивает отслеживание положения пользователя в масштабе комнаты без внешних датчиков; во время работы с гарнитурой пользователь может стоять или сидеть независимо от размера окружающей среды). Виртуальная реальность имеет технологию 360° видео, студент максимально погружен в визуальное изображение, все отвлекающие факторы исключены.

Два сенсорных контроллера в виртуальной реальности выглядят как реалистичные руки и синхронизируются с положением рук и основными движениями кистей (рисунок 1). «Oculus Quest 2» имеет позиционный звук, источник звука встроен непосредственно в гарнитуру.

В условиях виртуальной реальности воссозданы условия врачебного кабинета, с присутствующим виртуальным пациентом (мужчина или женщина); студент имеет возможность самостоятельно выполнять действия, необходимые при выслушивании легких и сердца. Несколько особенностей, на которые следует обратить внимание: а) преподаватель на мониторе центрального компьютера видит действия студента и имеет возможность их скор-



Рисунок 1. Вид пациента в виртуальной реальности: А – изображение пациента, которое видит студент; В – экран монитора преподавателя с изображениями 4-х точек доступа

■ Симуляционное обучение в медицине

ректировать; б) студент видит интерактивное меню, в котором может выбрать определенный звук со справочной информацией; с) студенты работают в паре – один студент занимается собственно аускультацией, второй – обеспечивает безопасность перемещения оператора по помещению; d) программное обеспечение дает возможность работы в режиме обучения и в режиме экзамена, при котором преподаватель задает условия работы.

Дизайн исследования. Исследование проведено на кафедре пропедевтики внутренних болезней Белорусского государственного медицинского университета. В исследование включено 77 студентов 3 курса, изучающих клиническую медицину (дисциплина «пропедевтика внутренних болезней»). Студенты были разделены на 2 группы: группа студентов, которые занимались в виртуальной реальности (Протокол VR, virtual reality, $n = 28$), и группа сравнения – студенты, которые занимались без использования виртуальных технологий (Протокол CS, classic scenario, $n = 49$) (таблица 1). Исследование продолжалось на протяжении семестра.

У всех участников брали информированное согласие на участие в эксперименте. В соответствии с Программой для изучения аускультации легких отведено 14 часов, аускультации сердца – 14 часов.

Аналогичным образом применен Протокол VR и Протокол CS для обучения аускультации сердца.

Как правило, при первом знакомстве с гарнитурой студентам требовалось определенное время для освоения (часто это время было меньше, чем время адаптации преподавателей). Уже на втором занятии студенты легко и непринужденно пользовались гарнитурой.

Легочные звуки были классифицированы в соответствии с [12], звуки сердца – [17]. Звуки легких и сердца включали в Протоколы VR

Таблица 2. Легочные звуки и звуки сердца в Протоколах VR и CS

	Количество вариантов
<i>Дыхательные шумы</i>	
Нормальное везикулярное дыхание	3
Крепитация (fine crackles)	3
Влажные хрипы (coarse crackles)	3
Сухие хрипы	3
Шум трения плевры	3
<i>Тоны сердца</i>	
Нормальные тоны*	2/2
Верхушка/Аорта	
Систолический шум**	2/2
Верхушка/Аорта	
Диастолический шум**	2/2
Верхушка/Аорта	

Примечание. * – распознавание точки выслушивания; ** – учитывали только распознавание шума безотносительно точки выслушивания.

и CS, соответственно, после согласованной оценки 3 независимых экспертов (таблица 2).

Контрольные точки. Эффективность обучающихся технологий оценивали как количество распознанных звуков при выслушивании студентами контрольных аудиозаписей звуков легких и сердца. Контроль производился в три этапа:

- 1) после обучения аускультации легких (контроль 1, только дыхательные звуки);
- 2) после обучения аускультации сердца (контроль 2, только сердечные звуки);
- 3) через 3 месяца после окончания обучения аускультации (контроль 3, звуки легких и сердца).

Для контроля аускультации легких записано 5 звуковых дорожек, каждая из которых содержала 4 различных дыхательных шума, для контроля аускультации сердца сформировано 5 звуковых дорожек, каждая из которых содержала 4 различных звука (тона или шума). Для итогового контроля записано 5 звуковых дорожек, каждая из которых содержала 6 раз-

Таблица 1. Содержание Протоколов обучения

№ занятия	Длительность, часы	Протокол VR	Протокол CS
		Содержание занятия	
1	3,5	Теоретические основы аускультации легких. Техника работы в виртуальной реальности	Теоретические основы аускультации легких. Техника работы с симуляторами
2	3,5	Изучение аускультации легких в виртуальной реальности	Изучение аускультации легких на симуляторах
3	3,5	Изучение аускультации легких в виртуальной реальности	Изучение аускультации легких на симуляторах у постели больного
4	3,5	Контроль	Контроль

личных звуков: 3 дыхательных звука и 3 сердечных звука. Студентам предлагали записать названия выслушанных звуков после двукратного выслушивания. Все контрольные звуковые дорожки были разными для исключения распространения информации, поскольку тестирование проводили не одновременно. В связи с пандемией COVID-19 имел место перевод некоторых студентов на дистанционную форму обучения, в связи с чем они не всегда присутствовали при контроле. Аудирование производилось через наушники с использованием ноутбука.

Анкетирование студентов. Студентам было задано несколько вопросов, позволяющих оценить их отношение к методу виртуальной реальности. Ответы оценивали по модифицированной шкале Ликерта (1–10), от – «полностью неудовлетворен» до «полностью удовлетворен»:

1. Использовали ли вы ранее очки виртуальной реальности?

2. Насколько вы удовлетворены обучением с использованием технологии виртуальной реальности?

3. На сколько просто было начать обучение во время первого занятия?

Статистический анализ. Статистическая обработка проводилась при помощи программы «Statistica 10». При анализе данных, с распределением, отличным от нормального, использовалась медиана (Me) и межквартильный интервал [Q25; Q75], для сравнения данных применялись непараметрические статистические методы. Статистически значимыми считались различия данных при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Аускультация легких. При выслушивании контрольных записей легочных звуков непосредственно после окончания обучения оказалось (таблица 3), что студенты, обучавшиеся в условиях виртуальной реальности, распознавали звуки несколько лучше, чем студенты, обучавшиеся по обычным технологиям (54,5 против 38,3 %). Вместе с тем, влажные хрипы в группе ВР распознавались существенно хуже.

Аускультация сердца. Эффективность распознавания звуков сердца непосредственно после обучения представлена в таблице 4. В целом, узнавание звуков в группе протокола VR было несколько лучше по сравнению с группой протокола CS (44,5 % против 36,8 %). Вместе с тем, эффективность распознавания отдельных патологических звуков (шумов) в группе протокола VR была несколько ниже.

Выживаемость распознавания звуков через 3 месяца. При итоговом контроле выживаемости знаний по аускультации сердца и легких, который проводился через 3 месяца после окончания изучения аускультации, оказалось, что долговременные результаты были лучше в группе виртуальной аускультации (таблица 5). Надо обратить внимание на низкий уровень выживаемости распознавания звуков – практически 50 % и ниже. Мы полагаем, что это связано с отсутствием ежедневного аускультативного тренинга у студентов: аускультативный навык требует ежедневной тренировки: даже для опытных врачей, после длительного

Таблица 3. Контроль звуков легких

Звук	Протокол VR (n = 24)			Протокол CS (n = 45)			p
	узнали	не узнали	% узнавания	узнали	не узнали	% узнавания	
Везикулярное дыхание	5	15	25,0	8	30	21,1	0,991
Бронхиальное дыхание	10	4	71,4	12	14	33,3	0,230
Влажные хрипы	5	14	26,3	18	17	51,4	0,135
Сухие хрипы	18	5	78,3	17	28	37,8	0,004
Шум трения плевры	6	4	60,0	6	14	30,0	0,236
Крепитация	8	2	80,0	8	8	50,0	0,265
Итого	52	44	54,2	69	111	38,3	0,017

Таблица 4. Контроль звуков сердца

Звук	Протокол VR (n = 28)			Протокол CS (n = 47)			p
	узнали	не узнали	% узнавания	узнали	не узнали	% узнавания	
Нормальные тоны	39	52	42,9	51	109	31,9	0,108
Систолический шум	10	7	58,8	18	12	60,0	0,818
Диастолический шум	4	7	36,4	8	10	44,4	0,968
Итого	53	66	44,5	77	131	36,8	0,223

Таблица 5. Контроль звуков легких и сердца

Звук	Протокол VR (n = 28)			Протокол CS (n = 48)			p
	узнали	не узнали	% узнавания	узнали	не узнали	% узнавания	
Звуки легких							
Везикулярное дыхание	1	10	9,1	7	20	25,9	0,430
Бронхиальное дыхание	5	6	45,5	8	13	38,1	0,112
Влажные хрипы	8	6	57,1	12	15	44,4	0,103
Сухие хрипы	12	18	40,0	20	20	50,0	0,096
Шум трения плевры	4	8	33,3	6	11	35,3	0,297
Крепитация	1	5	16,7	7	5	58,3	0,034
Итого звуки легких	31	53	36,9	60	84	41,7	<0,001
Звуки сердца							
Нормальные тоны	24	4	85,7	20	28	41,7	<0,001
Систолический шум	7	11	38,9	6	24	20,0	0,276
Диастолический шум	6	14	30,0	3	33	8,3	0,083
Дополнительные тоны	12	6	66,7	7	23	23,3	0,005
Итого звуки сердца	49	35	56,1	36	108	25,4	<0,001

отсутствия в клинике, требуется некоторое время для их восстановления.

При распознавании легочных звуков, студенты протокола CS продемонстрировали несколько лучшие результаты (41,7 % против 36,9 % для протокола VR). Необычно, но везикулярное дыхание (норма) распознавалось плохо, причем группа протокола VR значительно хуже узнавала нормальное везикулярное дыхание – только 9,1 % студентов, в то время как в группе протокола CS – 25,9 %. Сходная ситуация была и в отношении распознавания крепитации. Бронхиальное дыхание и влажные хрипы студенты протокола VR распознавали лучше.

При аускультации сердца ситуация была обратной: группа протокола VR распознала звуки в 56,1 % случаев, против – 25,4 % в группе протокола CS.

Интересно, что, если распознавание контрольных звуков сердца сразу после обучения было сопоставимо в обеих группах, то через 3 месяца студенты протокола VR узнавали звуки сердца более чем в 2 раза лучше, чем в группе протокола CS.

Таким образом, в целом, через 3 месяца после обучения аускультации, студенты VR группы распознавали звуки сердца и легких лучше, чем студенты, обучавшиеся по обычным технологиям. Важно отметить одну особенность: одни звуки распознаются лучше после обучения в VR, другие – после обучения с помощью обычных технологий. С другой стороны, такая «неоднородность» может быть связана с небольшой выборкой студентов.

Анкетирование студентов

Проанкетировано 28 студентов, использовавших виртуальную реальность в процессе обучения аускультации лёгких и сердца. Студенты при работе в виртуальных очках проявляли высокую заинтересованность и мотивацию. Ранее 18 (64,3 %) студента не имели опыта работы с гарнитурами виртуальной реальности, такой опыт имели только 10 (35,7 %) студентов. Вместе с тем, ни один из студентов не отметил существенных трудностей в использовании оборудования: в большинстве у студентов не возникало вопросов с началом использования технологии, по 16 человек (57,1 %) поставили баллы 9 и 10. Большинству студентов (n = 15, 53,6 %) потребовалось всего одно занятие для овладения гарнитурой. Еще 10 студентам (35,7 %) потребовалось два занятия, всего 3 студентам (10,7 %) потребовалось более двух занятий.

Среднее значение удовлетворённости (по 10-балльной шкале) технологией виртуальной реальности было высоким – 8,74, минимальное значение удовлетворенности составило 5, максимальный показатель удовлетворенности наблюдался у 10 студентов (32,1 %).

В качестве преимуществ использования виртуальной реальности студенты отметили возможность использования во время эпидемий, когда доступ к пациентам затруднён (14,3 %), усвоение изученного материала было легче, за счет «реальности» условий (14,3 %); 7 студентов (25,0 %) отметили, что нет неудобств по сравнению с работой с реальным пациентом и достаточно времени на проведения аускультации у каждого студента.

Дискуссия

Аускультация считается сложным навыком физикального обследования: даже врачи, имеющие определенный клинический опыт, сталкиваются со значительными трудностями. Так, при оценке узнавания звуков аускультации сердца врачами разных стран в среднем было узнано 20–26 % представленных звуков [10]. По данным S. L. Kobal с соавт. [9], сертифицированные кардиологи смогли распознать систолический шум сердца только у 62 % пациентов, имевших его и у 16 % пациентов с диастолическим шумом сердца.

Клиническая эффективность аускультации во многом зависит от усвоения базового материала (университет) и постоянной тренировки во время практической работы, то есть в течение всей жизни. Наши данные показывают, что времени, отпущенного студентам младших курсов на изучение аускультации явно недостаточно. Такого же мнения придерживаются и исследователи из других университетов. Так, студенты 3 курса смогли распознать только 11 % сердечных звуков, однако после обучения на манекенах-симуляторах частота распознавания сердечных звуков резко возросла – до 72 % [13]. При выслушивании легочных звуков студентами, частота распознавания в среднем не превышала 30 %; только для сухих хрипов и стридорозного дыхания она превышала 50 % [7]. В данном аспекте, технологии виртуальной реальности изменить ситуацию, конечно, не могут.

Вместе с тем, наши данные предполагают, что технологии VR не уступают в эффективности обучения уже имеющимся. Преимущества виртуальной реальности состоят в возможности максимально имитировать обстановку врачебного кабинета, его оборудование, действия врача при проведении физикального исследования и т. д. Иными словами, студент получает возможность для распознавания звуков не только слуховой анализатор, но и визуальный и тактильный, что позволяет повысить степень запоминания звуков. Кроме того, технологии виртуальной реальности вызывают повышенный интерес у студентов. Существенным преимуществом технологий VR является эргономичность оборудования: станция может быть развернута практически в любом помещении, основным условием является соблюдение тишины.

Важной особенностью виртуальных технологий является их гибкий характер. По нашему желанию мы можем не только добавлять (изменять) звуки, но и расширять области применения виртуальной модели (например, модель «внешний осмотр») без дополнительного оборудования.

Некоторые ограничения виртуальная аускультация все же имеет. Из минусов технологии на данном этапе можно отметить трудности работы в очках виртуальной реальности человеку, который имеет нарушения зрения и пользуется очками для постоянного ношения (от простого неудобства и несоответствия размеров гарнитуры и очков постоянного ношения до головной боли). Студентам, которые носят очки эпизодически, мы рекомендовали в день занятий использовать контактные линзы. Время, которое неподготовленный человек может провести в виртуальной реальности, сравнительно небольшое (по нашим данным, через 10–20 минут студенты устают и необходима смена деятельности).

Очевидно, что к полученным нами данным следует относиться с осторожностью, поскольку выборка учащихся была небольшой. Мы рассматриваем данный проект как пилотный, что позволит в перспективе провести большое, грамотно организованное клинико-педагогическое исследование.

Литература/References

1. Alinier, G. A typology of educationally focused medical simulation tools // *Med Teach.* – 2007. – № 29(8). – P. e243–50. – doi: 10.1080/01421590701551185. PMID: 18236268.
2. Almousa, O., Zhang R., Dimma M. et al. Virtual Reality Technology and Remote Digital Application for Tele-Simulation and Global Medical Education: An Innovative Hybrid System for Clinical Training. *Simulation & Gaming.* – 2021. – № 52(5). – P. 614–634. – doi: 10.1177/10468781211008258.
3. Ataro, G., Worku S., Asaminew T. Experience and Challenges of Objective Structured Clinical Examination (OSCE): Perspective of Students and Examiners in a Clinical Department of Ethiopian University // *Ethiop J Health Sci.* – 2020. – № 30(3). – P. 417–426. – doi: 10.4314/ejhs.v30i3.13 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7445939/>).
4. Baniasadi, T., Ayyoubzadeh S. M., Mohammadzadeh N. Challenges and Practical Considerations in Applying Virtual Reality in Medical Education and Treatment // *Oman Med J.* – 2020. – № 35(3). – P. e125. – doi: 10.5001/omj.2020.43. PMID: 32489677; PMCID: PMC7232669.
5. Dyer, E., Swartzlander B. J., Gugliucci M. R. Using virtual reality in medical education to teach empathy //

J Med Libr Assoc. – 2018. – № 106(4). – P. 498–500. – doi: 10.5195/jmla.2018.518. Epub 2018 Oct 1. PMID: 30271295; PMCID: PMC6148621.

6. *Erolin, C.* Interactive 3D Digital Models for Anatomy and Medical Education // *Adv Exp Med Biol.* – 2019. – Vol. 1138. – P. 1–16. – doi: 10.1007/978-3-030-14227-8_1. PMID: 31313254.

7. *Hafke-Dys, H., Bręborowicz A., Kleka P., Kociński J., Biniakowski A.* The accuracy of lung auscultation in the practice of physicians and medical students // *PLoS One.* – 2019. – № 14(8). – P. e0220606. – doi: 10.1371/journal.pone.0220606. PMID: 31404066; PMCID: PMC6690530.

8. *Kaminsky, J., Bianchi R., Eisner S., Ovitsh R., Lopez A. M., Smith L., Talukder N., Quinn A.* Respiratory Auscultation Lab Using a Cardiopulmonary Auscultation Simulation Manikin // *MedEdPORTAL.* – 2021. – № 17. – P. 11107. – doi: 10.15766/mep_2374-8265.11107. PMID: 33768144; PMCID: PMC7970645.

9. *Kobal, S. L., Trento L., Baharami S., Tolstrup K., Naqvi T. Z., Cercek B., Neuman Y., Mirocha J., Kar S., Forrester J. S., Siegel R. J.* Comparison of effectiveness of hand-carried ultrasound to bedside cardiovascular physical examination // *Am J Cardiol.* – 2005. – № 96(7). – P. 1002–6. – doi: 10.1016/j.amjcard.2005.05.060. PMID: 16188532.

10. *Mangione, S.* Cardiac auscultatory skills of physicians-in-training: a comparison of three English-speaking countries // *Am J Med.* – 2001. – № 110(3). – P. 210–6.

11. *McKinney, J., Cook D. A., Wood D., Hatala R.* Simulation-based training for cardiac auscultation skills: systematic review and meta-analysis // *J Gen Intern Med.* – 2013. – № 28(2). – P. 283–91. – doi: 10.1007/s11606-012-2198-y. Epub 2012 Sep 12. PMID: 22968795; PMCID: PMC3614132.

12. *Pasterkamp, H., Brand P. L., Everard M., Garcia-Marcos L., Melbye H., Priftis K. N.* Towards the standardisation of lung sound nomenclature // *Eur Respir J.* – 2016. – № 47(3). – P. 724–32. – doi: 10.1183/13993003.01132-2015. Epub 2015 Dec 2. PMID: 26647442.

13. *Perlini, S., Salinaro F., Santalucia P., Musca F.* Simulation-guided cardiac auscultation improves medical students' clinical skills: the Pavia pilot experience // *Intern Emerg Med.* – 2014. – № 9(2). – P. 165–72. doi: 10.1007/s11739-012-0811-z. Epub 2012 Jul 6. PMID: 22767224.

14. *Pottle, J.* Virtual reality and the transformation of medical education // *Future Healthc J.* – 2019. – № 6(3). – P. 181–185. – doi: 10.7861/fhj.2019-0036. PMID: 31660522; PMCID: PMC6798020.

15. *Rüllmann, N., Lee U., Klein K., Malzkorn B., Mayatepek E., Schneider M., Döing C.* Virtual auscultation course for medical students via video chat in times of COVID-19 // *GMS J Med Educ.* – 2020. – № 37(7). – Doc 102. – doi: 10.3205/zma001395. PMID: 33364381; PMCID: PMC7740006.

16. *Slivkoff, M. D., Bahner I., Bonaminio G., Brenne-man A., Brooks W., Chinn C., El-Sawi N., Haight M., Hurtu-bise B., McAuley B., Michaelsen V., Rowe R., Vari R. C., Yoon M.* Evolution and Revolution in Medical Education: Technology in the Twenty-First Century, an IAMSE Webcast Audio Seminar Series, Fall 2018 // *Med Sci Educ.* – 2019. – № 29(1). – P. 333–337. – doi: 10.1007/s40670-018-00681-2. PMID: 34457485; PMCID: PMC8368503.

17. *Yaseen, Son G.-Y., Kwon S.* Classification of Heart Sound Signal Using Multiple Features // *Applied Sciences.* – 2018. – № 8(12). – P. 2344. – <https://doi.org/10.3390/app8122344>.

Поступила 05.05.2025 г.