

ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО ХИРУРГИЧЕСКОГО СИМУЛЯТОРА ДЛЯ ОТРАБОТКИ НАВЫКОВ ОТОХИРУРГИИ В КУРСЕ ОТОРИНОЛАРИНГОЛОГИИ

Мареев Олег Вадимович¹, Мареев Глеб Олегович¹, Балкизов Залим Замирович²,
Афони́на Ольга Игоревна¹, Сыркин Тимофей Александрович¹

¹Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского,
г. Саратов, Российская Федерация

²Российский национальный исследовательский медицинский университет
им. Н. И. Пирогова, г. Москва, Российская Федерация

ORCID: Мареев О. В. — 0000-0002-7240-5651

ORCID: Мареев Г. О. — 0000-0002-5906-8080

ORCID: Балкизов З. З. — 0000-0002-9536-7010

ORCID: Афони́на О. И. — 0000-0001-5778-0966

ORCID: Сыркин Т. А. — 0009-0007-3044-869X

dr-mareev@mail.ru

DOI: 10.46594/2687-0037_2023_2_1634

Аннотация: Хирургия уха является весьма специфической областью хирургии, практические навыки в которой значительно отличаются от других отраслей хирургии. В настоящее время во всем мире фактически не имеется стандарта обучения отохирургии. В исследовании приводятся данные по применению в обучении хирургии уха виртуального симулятора с тактильной обратной связью и сравниваются объективные результаты работы на симуляторе в группах ординаторов, поликлинических врачей, врачей ЛОР-стационаров и профессиональных отохирургов-экспертов. В ходе исследования установлено, что подобная подготовка повышает базовые знания обучающихся анатомии, их пространственное представление о структурах височной кости и ее топографии, о методиках и технологиях оперирования уха, что является важнейшим результатом для ординаторов и стационарных, оперирующих врачей. Для врачей-оториноларингологов поликлинического звена подобные знания чрезвычайно важны для понимания выполненных хирургических вмешательств у больных, переданных им под наблюдение из хирургических стационаров.

Ключевые слова: виртуальный симулятор, симуляционное обучение, отит, отоскопия, оториноларингология, отохирургия.

Для цитирования: Мареев О. В., Мареев Г. О., Балкизов З. З., Афони́на О. И., Сыркин Т. А. Применение виртуального хирургического симулятора для отработки навыков отохирургии в курсе оториноларингологии // Виртуальные технологии в медицине. 2023. Т. 1, № 2. DOI: 10.46594/2687-0037_2023_2_1634

Научная специальность: 3.2.3. Общественное здоровье и организация здравоохранения, социология и история медицины.

Поступила в редакцию 29 мая 2023 г.

Поступила после рецензирования 19 июня 2023 г.

Принята к публикации 29 июня 2023 г.

THE USE OF A VIRTUAL SURGICAL SIMULATOR FOR PRACTICING OTOSURGERY SKILLS IN THE COURSE OF OTORHINOLARYNGOLOGY

Mareev O. V.¹, Mareev G. O.¹, Balkizov Z. Z.², Afonina O. I.¹, Syrkin T. A.¹

V. I. Razumovsky Saratov State Medical University, Saratov, Russian Federation
N. I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation

dr-mareev@mail.ru

DOI: 10.46594/2687-0037_2023_2_1634

Annotation. Ear surgery is a very specific area in which the practical skills differ significantly from other branches of surgery. At present, there is no standard for training in otosurgery worldwide. The study provides data on the use of a virtual simulator with haptic feedback in teaching ear surgery and compares the objective results of working on the simulator in groups of residents, outpatient doctors, ENT doctors and professional otosurgeons-experts. The study found that such training increases the basic knowledge of students of the anatomy, their spatial understanding of the structures of the temporal bone and its topography, the methods and technologies of ear surgery, which is the most important result for residents and inpatient operating doctors.

For polyclinic otorhinolaryngologists, such knowledge is extremely important for understanding the surgical interventions performed in patients transferred to them for supervision from surgical hospitals.

Keywords: virtual simulator, simulation training, otiatry, otoscopy, otorhinolaryngology, otosurgery.

For quotation: Mareev O. V., Mareev G. O., Balkizov Z. Z., Afonina O. I., Syrkin T.A. The Use of a Virtual Surgical Simulator for Practicing Otosurgery Skills in the Course of Otorhinolaryngology // Virtual Technologies in Medicine. 2023. T. 1, no. 2. DOI: 10.46594/2687-0037_2023_2_1634

Received May 29, 2023.

Revised June 19, 2023.

Accepted June 29, 2023.

Современная оториноларингология является высокотехнологичной отраслью медицины. Работа врача-оториноларинголога предполагает совершенное владение большим количеством практических навыков, ряд из которых крайне специфичен, например: осмотр уха (отоскопия), осмотр гортани (ларингоскопия) или осмотр полости носа (риноскопия). Следует учитывать, что рутинные методики осмотра также видоизменяются, совершенствуются со временем и, например, отоскопия может быть произведена с помощью ушной воронки, отоскопа, лупы, видеоотоскопа, ушного эндоскопа или специального операционного микроскопа. Хирургические вмешательства, проводимые в этой специальности, также весьма отличны от других областей медицины. Наибольшей спецификой обладает такой раздел специальности, как хирургия уха. Выполнение хирургических вмешательств на ухе предусматривает трепанацию костной ткани, проводимую по определенным правилам при помощи долот (что широко использовалось ранее) или хирургической бормашины (современная микрохирургия уха); хорошее знание анатомических особенностей и топографии данной части черепа, а также анатомических вариантов ее строения. При этом близость жизненно важных органов и анатомических структур делает хирургию этой области чрезвычайно опасной. Отличается хирургия уха и размахом движения руки хирурга, который должен быть способен перемещать объекты очень небольшого размера, используя при этом операционный микроскоп, что также накладывает определенную специфику на эргономику выполнения этих вмешательств.

Обучение хирургии уха всегда сопровождалось значительными затратами, а качественная подготовка отохирурга занимает годы занятий, подразумевающих, кроме штудирования учебной литературы, еще и диссекции височных костей, ассистирование на операциях, внимательное рассмотрение и трактовку компьютерных томограмм. Работа на кадаверном материале по ряду причин, в первую очередь юридических, в настоящее время малодоступна. Единичные курсы, на которых на нескольких слушателей приходится одна височная кость для диссекции, не могут дать необходимой подготовки, хотя и имеют большое значение для окончательного закрепления ранее полученных навыков и разрешения частных вопросов, возникающих в ходе подготовки у обучающегося отохирургии. Каких-либо адекватных моделей височной кости на сегодняшний момент фактически не существует. Имеющиеся — чрезмерно дороги, отражают одно, как правило, — нормальное пневматическое строение височной кости, а главное — они разрушаются в ходе

фантомной диссекции. Указанные проблемы с подготовкой отохирургов на самом деле не являются сугубо характерными для Российской Федерации, а носят общемировой характер [1]. На протяжении десятилетий для отработки хирургических вмешательств на ухе предлагаются самые различные методики, например, в последнее время — 3D печать височной кости из КТ высокого разрешения на бытовых принтерах по технологии FDM из пластика [2, 3], на принтерах промышленного класса [4, 5] с использованием нескольких различных материалов [6, 7, 8] или с колоризацией объемных структур [9, 10].

В последнее десятилетие достаточно широко внедряются методики проведения виртуальной диссекции височной кости [11, 12]. В основе метода лежит, как правило, полученная из компьютерной томограммы высокого разрешения, виртуальная модель, с которой предлагается взаимодействовать обучающемуся самыми различными методами [13]. Наиболее распространена симуляция хирургической бормашины. Эти методики позволяют проводить обучение многократно, без каких-либо материальных затрат на расходные материалы, представить множество различных вариантов строения височной кости, как нормальных, так и патологически измененных [14–17]. Есть у этих методик и недостатки — в первую очередь малая реалистичность симуляционной процедуры, в основном связанная как с особенностями визуализации виртуального мира, так и с несовершенством систем тактильной обратной связи [15–18].

Цель исследования — оценить степень совершенствования базовых навыков отохирургии при обучении с помощью виртуального хирургического симулятора с тактильной обратной связью.

Материалы и методы

Исследование применения виртуального хирургического симулятора с тактильной обратной связью проведено на базе кафедры оториноларингологии ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского». Кафедра оториноларингологии ведет занятия со студентами на лечебном, педиатрическом, стоматологическом, медико-профилактическом и иностранном факультетах; также в работу кафедры входит подготовка ординаторов по специальности «оториноларингология» и проведение циклов ФПК для врачей по этой специальности, обучающихся в институте подготовки кадров высшей квалификации и дополнительного профессионального образования СГМУ. Всего в исследовании приняли участие 80 человек — 36 ординаторов 1 и 2 года обуче-

ния (16 и 19 человек соответственно) и 44 врача цикла ФПК. При сравнении показателей учитывался возраст обучающихся, их стаж, количество оперативных вмешательств на ухе, выполненных ими за последний год. По последнему параметру в группе врачей ФПК были выделены подгруппы — врачей «не оперирующих» (имеется в виду проведение любых хирургических вмешательств на ухе) и врачей «оперирующих». Среди первых были сотрудники как поликлиник, так и стационаров; среди вторых — исключительно работники ЛОР-отделений различных лечебных учреждений.

Отдельную группу составили 2 эксперта — сотрудники кафедры оториноларингологии ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского», в полном объеме владеющие современной отохирургией, оказывающие все виды оперативных вмешательств на ухе, в том числе и по линии высокотехнологичной медицинской помощи (ВМП) (не менее 50 хирургических вмешательств на ухе за последний год).

Нами были использованы часы, выделенные на занятия по болезням уха и хирургии уха, в рамках программы клинической ординатуры по специальности «Оториноларингология» (общей продолжительностью 1324 часа на 2 года, 136 часов на отиатрию) и подобная часть программы цикла ФПК (общей продолжительностью 144 часа, из них 18 часов на отиатрию). Нами было принято решение об использовании имеющегося на кафедре виртуального хирургического симулятора “Asclepia” в курсе отиатрии.

Виртуальный хирургический симулятор с тактильной обратной связью “Asclepia” — это отечественная разработка (ООО «ГЭОТАР-МЕДИА», разработчик ООО «Лаборатория Виртуальных Систем»), позволяющий проводить занятия и оценивать знания по хирургии уха, околоносовых пазух, эндоскопической ринохирургии [18]. Особенность симулятора в создании виртуальных моделей на базе томограмм реальных пациентов, а также в наличии тактильной обратной связи, что чрезвычайно важно для отработки хирургических навыков.

С каждым обучающимся проводилось 5 занятий на симуляторе “Asclepia”. Предварительно проводилось вводное занятие, на котором объяснялись принципы работы симулятора, проводилась самостоятельная работа по вводному курсу «Базовые навыки работы с бормашиной». Затем проводились занятия по различным темам, входящим в курс «Хирургия уха 1», представленный на симуляторе. В качестве отчетной задачи была выбрана «Задача № 3. Радикальная операция на пневматизированной височной кости» как наиболее отвечающая большинству задач, с которыми приходится сталкиваться отохирургу. Оценивалось время выполнения задачи обучающимся, общая оценка, объем верно удаленной кости, объем неверно удаленной кости и количество ранений критических структур, приведенных к нормированному показателю (в процентах). Объем верно удаленной кости оце-

нивается на симуляторе “Asclepia” относительно усредненного объема удаленной кости при выполнении данной задачи высокопрофессиональными отохирургами. Таким образом, владение базовыми навыками отохирургии оценивалось нами автоматически с помощью встроенных инструментов симулятора “Asclepia”.

Все исследование одобрено Этическим комитетом ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского», протокол № 3 от 05.11.2019, на основании информированного согласия об участии в исследовании, подписываемого участником.

Статистическая обработка проводилась нами в Microsoft Excel 2013. Для оценки достоверности гипотез использовался метод однофакторного дисперсионного анализа; для проверки взаимосвязей — коэффициент линейной корреляции r , с оценкой результатов по системе Кендалл.

Результаты объективной оценки работы обучающихся на хирургическом симуляторе с тактильной обратной связью

Результаты объективной оценки выполнения обучающимися и экспертной группой задания по симуляционной отохирургии на протяжении пятидневного курса занятий приведены в графическом виде на рисунке 1. Хорошо заметно, что по мере прохождения обучающимися всех групп цикла занятий уверенно повышается общая оценка выполнения симуляционного задания; увеличивается объем верно удаленной костной ткани и уменьшается объем неверно (излишне) удаленной костной ткани (рис. 2). Важнейшим параметром является наличие повреждения критических структур, означающее фатальные ошибки в выполнении задания по симуляционной отохирургии (рис. 3). Надо отметить, что ввиду особенностей симулятора “Asclepia” оценка удаленной костной ткани и неверно удаленной костной ткани, а также повреждения различных критических структур производится симулятором дифференцированно, ввиду чего непосредственной линейной связи между общей оценкой обучающегося и каким-либо из приведенных оценочных параметров нет; однако повреждение критических структур оказывает значительное влияние на общую оценку, фактически свидетельствуя о невыполнении задания.

Хорошо заметно, что результаты «неоперирующих» врачей в первый день цикла в среднем даже несколько ниже, чем результаты ординаторов. Это можно объяснить тем, что ординаторы были как первого, так и второго года обучения; при этом многие ординаторы второго года обучения также проходили подобный цикл занятий, будучи на первом году обучения. Таким образом, ординаторы второго года уже имеют опыт работы на симуляторе, в отличие от врачей, практически все из которых впервые знакомятся с симуляционным курсом отохирургии. После первого занятия, обучившись работе на симуляторе, особенностям его интерфейса, представлениям виртуального контента

и механизму создания тактильной обратной связи, врачи превосходят ординаторов, в чем, несомненно, сказывается клинический опыт и практические знания. Группа врачей «оперирующих», владеющих навыками хирургии уха, сразу показывает лучшие результаты, а привыкнув к работе с симулятором выходит на уровень, приближающийся к экспертному.

Чрезвычайно высокий уровень подготовки экспертной группы — профессиональных отохирургов, выполняющих оперативные вмешательства на ухе, в своей деятельности практически ежедневно позволяют показать стабильно высокие результаты, практическую безошибочность действий, выражающуюся в полном отсутствии ранений критических структур. Незначительно варьируется у экспертов лишь удаление излишней костной ткани при фактически стабильном выполнении одного и того же симуляционного вмешательства по единой схеме изо дня в день.

К пятому дню занятий количество ранений критических структур резко падает во всех группах обучающихся, и составляет приемлемый уровень, мало влияющий на конечную общую оценку выполнения задания. Увеличивается количество верно удаленной кости, резко уменьшается количество неверно удаленной кости, что означает стабилизацию плана выполняемого вмешательства и освоение данной симуляционной задачи обучающимися в полной мере.

В данном случае интересно выявить также какие-ли-

бо взаимосвязи, влияющие на выполнение задач обучающимися в каждой группе, например зависимость от пола и возраста, стажа, количества выполненных за последний год операций на ухе.

Из результатов анализа корреляционных зависимостей следует, что для группы не оперирующих врачей такие факторы как пол ($r = -0,03$), возраст ($r = 0,04$), стаж ($r = -0,05$), не оказывают значимого влияния на общие результаты выполнения симуляционного задания по отохирургии. Подобное наблюдается и в группе ординаторов — нет зависимости от пола ($r = 0,02$) и года обучения ($r = -0,06$).

В группе врачей, оказывающих хирургическое пособие при болезнях уха, имеются взаимосвязи средней силы прямого характера между результатами выполнения задания и количеством выполненных за последний год оперативных вмешательств ($r = 0,33$); определенное влияние оказывает стаж работы по специальности ($r = 0,17$) и возраст ($r = 0,39$) врача-оториноларинголога, занимающегося отохирургией. Наиболее значительное влияние стаж оказывает на объем верно удаленной кости ($r = 0,36$), что свидетельствует о наличии с самого начала у врачей этой группы определенного стабильного плана выполнения симуляционного хирургического вмешательства на ухе. Объем неверно удаленной кости находится в обратной зависимости от количества вмешательств за последний год ($r = -0,25$) и возраста хирурга ($r = -0,27$). Ранения критических

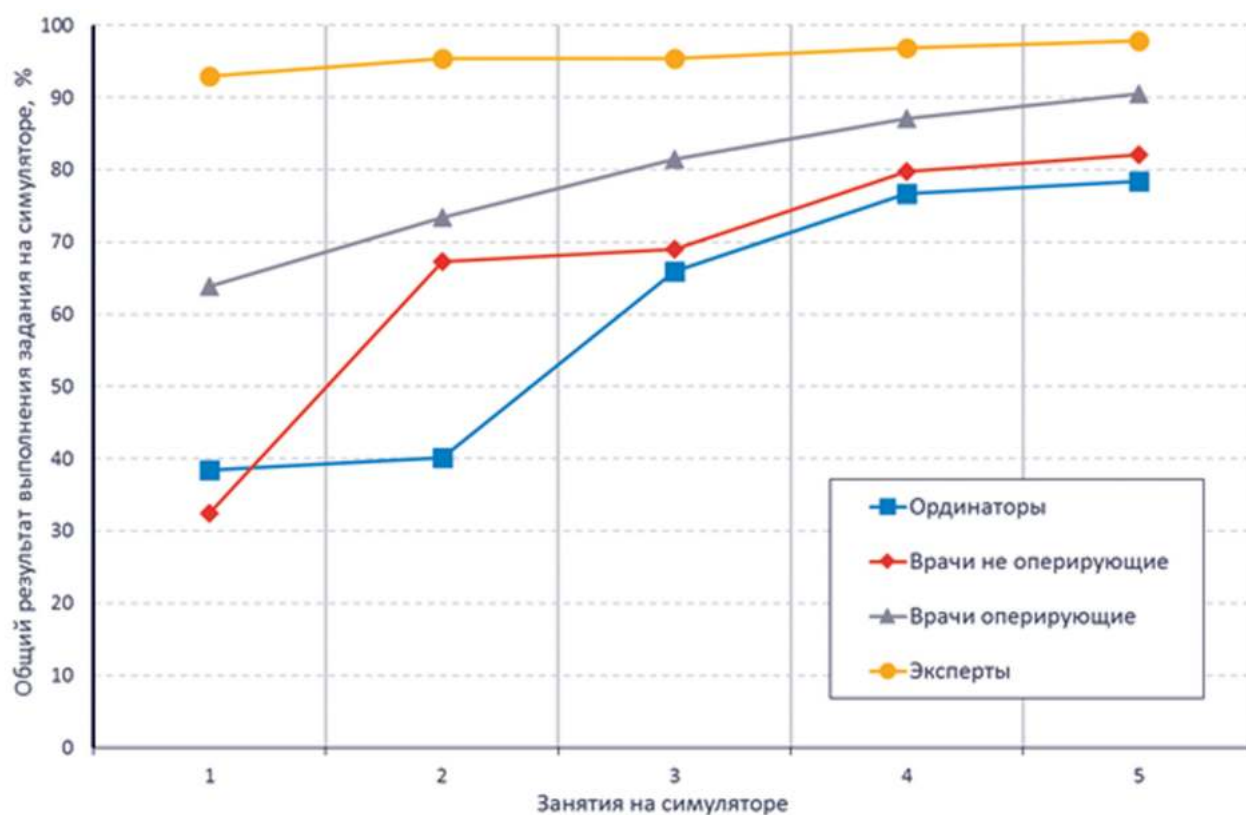


Рис. 1. Результаты объективной оценки выполнения обучающимися и экспертной группой задания по симуляционной отохирургии на протяжении пятидневного курса занятий

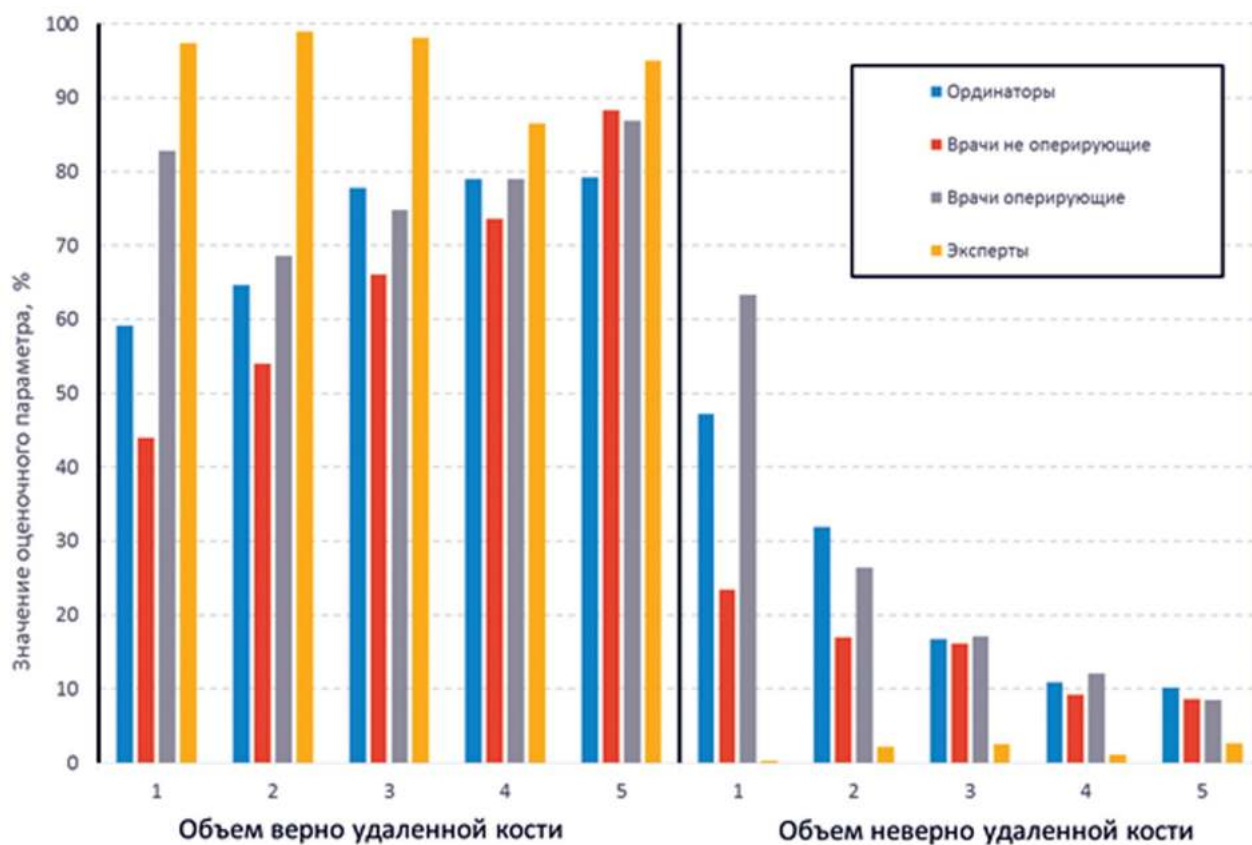


Рис. 2. Динамика объема верно и неверно удаленной кости при выполнении задания по симуляционной отохирургии на протяжении пятидневного курса занятий

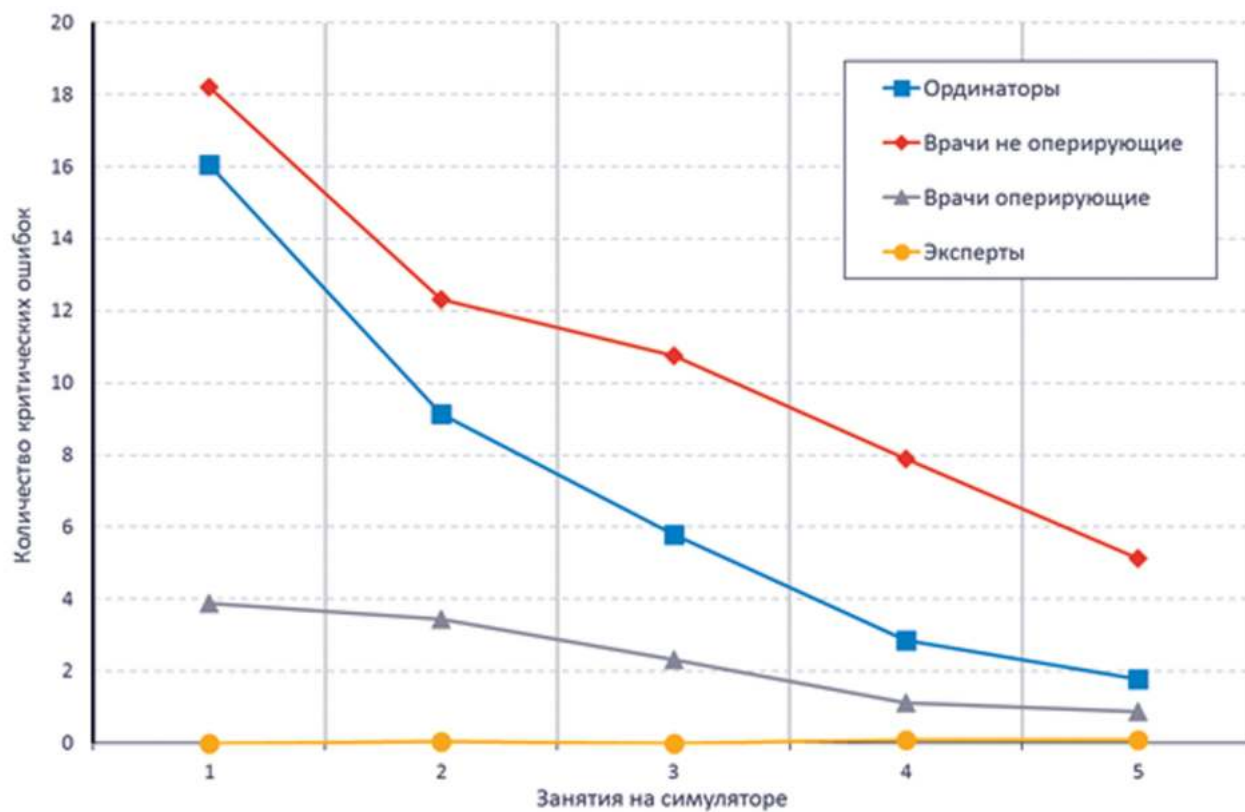


Рис. 3. Динамика количества повреждения критических структур при выполнении задания по симуляционной отохирургии на протяжении пятидневного курса занятий

структур, совершаемые в ходе выполнения симуляционного вмешательства на ухе, находятся в обратной зависимости средней силы от фактического опыта хирурга — количества оперативных вмешательств на ухе за последний год ($r = -0,345$); не очень зависят от общего стажа по специальности ($r = -0,1$); также находятся в обратной зависимости слабой силы от возраста ($r = -0,27$). Очевидно, что сам по себе стаж не является показателем опыта в такой специфической отрасли оториноларингологии, как отохирургия. Каких-либо зависимостей от пола фактически не найдено; некая зависимость от пола в группе «оперирующих врачей» ($k = -0,36$) не является показательной ввиду крайней неоднородности состава группы по гендерному признаку (женщин всего 3 из 13 человек в данной группе).

Однофакторный дисперсионный анализ, проведенный нами, подтвердил статистическую значимость отличий между основными группами исследования по всем параметрам объективной оценки результатов выполнения симуляционного задания по отохирургии. Так, статистически значимы различия между основными группами исследования по общей оценке ($F_{\text{набл}} = 5,61$, $F_{\text{крит}} = 3,23$, при уровне значимости $\alpha = 0,05$); по объему верно удаленной кости ($F_{\text{набл}} = 7,20$, $F_{\text{крит}} = 3,23$, при уровне значимости $\alpha = 0,05$); по ранению критических структур ($F_{\text{набл}} = 7,91$, $F_{\text{крит}} = 3,23$, при уровне значимости $\alpha = 0,05$). При этом различия между основными группами исследования по объему неверно удаленной кости незначимы ($F_{\text{набл}} = 2,97$, $F_{\text{крит}} = 3,23$, при уровне значимости $\alpha = 0,05$). Отсутствие значимого статистически различия по этому параметру можно объяснить тем, что он характеризует лишь наличие у выполняющего симуляционное задание более-менее стабильного плана выполнения оперативного вмешательства и достаточно широко варьирует в зависимости от личных предпочтений, особенно если у обучающегося имеется собственный опыт практической хирургии уха. Этот параметр является дополнительным, но при этом он вносит несколько больший вклад в общую оценку, чем объем верно удаленной кости, так как характеризует общее понимание плана и хода оперативного вмешательства; а также аккуратность его выполнения.

Обсуждение

Наши наблюдения в целом соответствуют мировому тренду в образовательном процессе в оториноларингологии. В настоящее время практически все авторы ставят на начальный этап в обучении отохирургии и хирургической анатомии уха виртуальную диссекцию и симуляцию хирургических вмешательств на ухе [14–20]. Согласно исследованию [21], результаты кадаверной диссекции височных костей обучающихся, подготовленных на виртуальном симуляторе, фактически не отличаются от таковых, прошедших подготовку непосредственно на височных костях. В работах [12, 14] приведены выводы о лучшем владении анатомическими понятиями и пространственном понимании анатомии у обучающихся, прошедших полный курс обучения на виртуальных симуляторах, чем у лиц, обучавшихся непосредственно на диссекции ограни-

ченного числа кадаверных височных костей [13–15, 18–22].

Что касается оценочных параметров симулятора “Asclepia”, несмотря на то что критерии оценки выполнения заданий с его помощью отличаются от других симуляторов (Voxelman [13] или Visible Ear [22]), тем не менее прослеживается общая тенденция, которая заключается в том, что в процессе первых занятий обучающиеся знакомятся с симулятором, привыкают к его представлению хирургического поля, пространства, интерфейсу и принципам его работы. В это время число ошибок достаточно велико, и это объясняется определенной непривычностью обучающихся к работе в виртуальной реальности [11, 18, 22], в последующем число ошибок обучающихся сокращается. Однако, как видно из нашего исследования, лучшие результаты показывают на симуляторе врачи, имеющие опыт хирургии уха; при этом чем более значим этот опыт, выражающийся в количестве оперативных вмешательств за год, тем меньше ошибок совершает обучающийся, в том числе и на этапе знакомства с виртуальным симулятором. В литературе также приводятся подобные сведения [13, 15, 21]. Оперирющие врачи ЛОР-стационаров, таким образом, обычно имеют общий план выполнения хирургических вмешательств на ухе, хорошо знакомы с анатомией уха и в достаточной мере представляют себе трехмерное расположение различных структур уха; об этом свидетельствует малое количество критических ошибок в этой группе даже на первых занятиях. Ординаторы и поликлинические врачи при первых занятиях знакомятся не только с самим симулятором, но и с пространственной анатомией височной кости, с ее анатомо-топографическими соотношениями и базовыми принципами хирургических вмешательств на ухе.

Выводы

1. В единой специальности «оториноларингология» имеется фактическое сложившееся разделение на врачей, занимающихся амбулаторной практикой, и врачей, оказывающих хирургическую помощь в условиях стационаров; при этом на материалах данного исследования наглядно отражена разница уровня их знаний и практической подготовки.
2. Использование виртуального хирургического симулятора позволяет дать объективную оценку знаниям и практическим умениям врача-оториноларинголога по хирургии уха.
3. Использование виртуального симулятора в качестве средства подготовки ординаторов и врачей на циклах ФПК позволяет значительно улучшить представление врачей о трехмерной анатомии височной кости и проводимых на ней хирургических вмешательствах.

Заключение

Полученные нами результаты свидетельствуют о значительной роли виртуального симуляционного обучения в формировании знаний и практических навыков в оториноларингологии по разделу отиатрии и отохирургии. Наши результаты демонстрируют, что подготовка врачей ФПК и ординаторов, вне зависи-

МЕДКОМПЛЕКС



ПРОИЗВОДСТВО
СИМУЛЯЦИОННОГО
ОБОРУДОВАНИЯ —
УНИКАЛЬНЫЕ
ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ
РЕШЕНИЯ!

Хирургия

Инструментальная
диагностика

Практические
навыки

Клиническое
мышление

Объективные
исследования

Врачебная
косметология



СДЕЛАНО В РОССИИ



medkompleks.com



+7(831)436-19-98



office@medkompleks.com

мости от их дальнейшего интереса к хирургии уха, обязана включать курс симуляционного обучения отохирургии. Это повышает базовые знания анатомии обучающихся, их пространственное представление о структурах височной кости и ее топографии. Для врачей-оториноларингологов поликлинического звена подобные знания чрезвычайно важны для понимания выполненных хирургических вмешательств у больных, переданных им под наблюдение из хирургических стационаров; в последние годы это приобретает особый смысл с формированием системы ВМП, при этом больные концентрируются и оперируются в федеральных центрах.

Что касается процесса проверки знаний в системе непрерывного медицинского образования, то фактически применение подобных симуляционных курсов — это единственная возможность в настоящее время дать какую-либо объективную оценку хирургическим навыкам врача-оториноларинголога.

ЛИТЕРАТУРА

- George A. P., De R. Review of temporal bone dissection teaching: how it was, is and will be // *The Journal of Laryngology & Otology*. 2010 Feb. No. 124 (2). P. 119–125.
- Suzuki M., Hagiwara A., Kawaguchi S., Ono H. Application of a rapid-prototyped temporal bone model for surgical planning // *Acta Otolaryngol*. 2005. No. 125. P. 29–32.
- Suzuki M., Ogawa Y., Hagiwara A., Yamaguchi H., Ono H. Rapidly prototyped temporal bone model for otological education // *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*. 2004. No. 66. P. 62–64.
- Owa A. O., Gbejuade H. O., Giddings C. A middle-ear simulator for practicing prosthesis placement for otosclerosis surgery using ward-based materials // *J Laryngol Otol*. 2003. No. 117. P. 490–492.
- Mowry Sarah E, Jammal Hachem, Myer Charles, Solares Clementino Arturo, Weinberger Paul. A Novel Temporal Bone Simulation Model Using 3D Printing Techniques // *Otology & Neurotology*. 2015. No. 36. P. 1562–1565. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000000848>.
- Vankoeving K. K., Malloy K. M. Emerging role of three-dimensional printing in simulation in otolaryngology // *Otolaryngol Clin North Am*. 2017. No. 50 (5). P. 947–958.
- Gadaleta D. J., Huang D., Rankin N., et al. 3D printed temporal bone as a tool for otologic surgery simulation // *Am J Otolaryngol*. 2020. No. 41 (3). P. 102–273.
- Haffner M., Quinn A., Hsieh T.-Y., Strong E. B., Steele T. Optimization of 3D print material for the recreation of patient-specific temporal bone models // *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2018. No. 127 (5). P. 338–343.
- Mooney M. A., Cavallo C., Zhou J. J., et al. Three-dimensional printed models for lateral skull base surgical training: anatomy and simulation of the transtemporal approaches // *Oper Neurosurg*. 2019. No. 18 (2). P. 193–201.
- Chauvelot J., Laurent C., Le Coz, G., et al. Morphological validation of a novel bi-material 3D-printed model of temporal bone for middle ear surgery education // *Ann Transl Med*. 2020. No. 8 (6). P. 304.
- Arora A., Lau L. Y. M., Awad Z., Darzi A., Singh A., Tolley N. Virtual reality simulation training in otolaryngology // *Int J Surg*. 2014. No. 12. P. 87–94.
- Мареєв Г. О., Мареєв О. В., Данилова Т. В., Алайцев И. К. Обзор систем виртуальной реальности для обучения хирургическим навыкам в области лица и шеи // *Мир науки, культуры, образования*. 2015. № 6 (55). С. 92–96.
- Nash R., Sykes R., Majithia A., Arora A., Singh A., Khemani S. Objective assessment of learning curves for the Voxel-Man TempoSurg temporal bone surgery computer simulator // *J Laryngol Otol*. 2012. No. 126. P. 663–669.
- Chan S., Li P., Locketz G., Salisbury K., Blevins N. H. High-fidelity haptic and visual rendering for patient-specific simulation of temporal bone surgery // *Comput Assist Surg*. 2016. No. 21. P. 85–101.
- Wang T.-Y., Wang P.-C., Liu C.-H., Su M.-C., Yeh S. C. Evaluation of a haptics-based virtual reality temporal bone simulator for anatomy and surgery training // *Comput Methods Programs Biomed*. 2014. No. 113. P. 674–681.
- Wiet G. J., Stredney D., Kerwin T., et al. Virtual temporal bone dissection system: development and testing // *Laryngoscope*. 2012. No. 122. S1–S12.
- Wong D., Unger B., Kraut J., Pisa J., Rhodes C., Hochman J. B. Comparison of cadaveric and isomorphic virtual haptic simulation in temporal bone training // *J Otolaryngol Head Neck Surg*. 2014. No. 43. P. 31.
- Мареєв О. В., Мареєв Г. О., Князев А. Б. Валидация виртуального отохирургического симулятора Журнал научных статей // *Здоровье и образование в XXI веке*. 2018. Т. 20, № 1. С. 103–107.
- Freund M., Thinggaard E., Konge L., Sølvsten M., Steven S. Decentralized virtual reality mastoidectomy simulation training: a prospective, mixed-methods study // *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2019. No. 276 (10). P. 2783–2789.
- Compton E. C., Agrawal S. K., Ladak H. M., et al. Assessment of a virtual reality temporal bone surgical simulator: a national face and content validity study // *J of Otolaryngol — Head & Neck Surg*. 2020. No. 49 (17). <https://doi.org/10.1186/s40463-020-00411-y>
- Zhao Y. C., Kennedy G., Yukawa K., Pyman B., O’Leary S. Can virtual reality simulator be used as a training aid to improve cadaver temporal bone dissection? Results of a randomized blinded control trial // *Laryngoscope*. 2011. No. 121. P. 831–837.
- Locketz G. D., Lui J. T., Chan S., et al. Anatomy-Specific Virtual Reality Simulation in Temporal Bone Dissection: Perceived Utility and Impact on Surgeon Confidence // *Otolaryngology — Head and Neck Surgery*. 2017. No. 156 (6). P. 1142–1149. <https://doi.org/10.1177/0194599817691474>