

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto110979>

Медицинский симулятор для подготовки врачей-травматологов: экспериментальная работа

Т.А. Парамонов¹, И.В. Маркин¹, В.Р. Ан¹, С.В. Кушнарв², П.К. Потапов¹,
К.А. Ведищев¹, Н.В. Варламова¹, А.Р. Музафаров¹, Р.Р. Байкиев¹, Е.А. Журбин¹,
Д.А. Отавин¹, И.А. Забирова¹

¹ Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа, Российская Федерация;

² Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Переломы костей таза — один из самых сложных и опасных видов травм ввиду наличия в этой области тела большого числа крупных кровеносных сосудов. Они влекут за собой частичную либо полную утрату работоспособности у пострадавших и обладают высокой летальностью. В связи с тем, что в медицинской практике случаев переломов костей таза меньше, чем других видов переломов, специалистам зачастую не хватает практического опыта, наработки навыков. Таким образом, для обучения или повышения квалификации специалистов требуется более серьёзная теоретическая подготовка, которая малопродуктивна без качественных учебных симуляторов и моделей.

Цель. Исследование проведено с целью разработки и изготовления многоцветного симулятора, имитирующего мягкие ткани человека и дающего возможность всесторонне подготовить и обучить специалистов технике установки аппарата внешней фиксации при нестабильных переломах костей таза у человека.

Материалы и методы. Для создания симулятора было пройдено несколько основных этапов: получение образцов костей таза, изготовление формы для отливки и непосредственно сборка симулятора. Для получения образцов костей использовали предоставленные Военно-медицинской академией им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург) обезличенные КТ- и МРТ-снимки, на основе которых была получена 3D-модель костей таза. На основе этой модели с помощью аддитивных технологий были изготовлены анатомически точные копии костей таза человека. На следующем этапе нами разработана трёхмерная цифровая компьютерная модель и выпущена форма для отливки готового изделия. Внутри формы размещали образцы костей, после чего её поэтапно заполняли желатин-глицериновым составом, который после затвердевания имитирует мягкие ткани человека.

Результаты. В ходе работы изготовлен опытный образец медицинского симулятора для обучения установке комплекта сочетанной травмы при нестабильных переломах костей таза.

Заключение. Созданный нами симулятор может широко применяться в процессе обучения и подготовки специалистов благодаря своей достаточно высокой анатомической точности, простоте обслуживания и хорошему потенциалу для массового производства.

Ключевые слова: перелом костей таза; аппарат внешней фиксации; аддитивные технологии; медицинский симулятор.

Как цитировать:

Парамонов Т.А., Маркин И.В., Ан В.Р., Кушнарв С.В., Потапов П.К., Ведищев К.А., Варламова Н.В., Музафаров А.Р., Байкиев Р.Р., Журбин Е.А., Отавин Д.А., Забирова И.А. Медицинский симулятор для подготовки врачей-травматологов: экспериментальная работа // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2022. Т. 29, № 3. С. 279–288. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto110979>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto110979>

Medical simulator for the training of traumatologists: pilot work

Timofey A. Paramonov¹, Ilya V. Markin¹, Vladimir R. An¹, Sergei V. Kushnarev², Pyotr K. Potapov¹, Kirill A. Vedishev¹, Natalia V. Varlamova¹, Artur R. Muzafarov¹, Renat R. Baikiev¹, Evgeniy A. Zhurbin¹, Denis A. Otavin¹, Iraida A. Zabiroya¹

¹ Military Innovation Technopolis «ERA», Anapa, Russia;

² Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Pelvic fractures are one of the most complex and fatal injuries because numerous large blood vessels are affected. They entail partial or complete loss of working capacity and have a high mortality rate. In medical practice, the number of pelvic fractures is fewer than that of other types of fractures, and specialists often lack practical experience and skills in the treatment. Thus, for the training, or advanced training of specialists, more serious theoretical training is required, which is unproductive without high-quality training simulators and models.

AIM: The study aimed to develop and manufacture an easy-to-use simulator that mimics human soft tissues and makes it possible to comprehensively prepare and educate specialists in the technique of installing an external fixation device for unstable pelvic fractures.

MATERIALS AND METHODS: To create the simulator, several main stages were completed: obtaining samples of the pelvic bones, making a mold for casting, and directly assembling the simulator. To obtain bone samples, computed tomography scans and magnetic resonance therapy images were used, on which a three-dimensional (3D) model of the pelvic bones was obtained. Based on this model, anatomically accurate copies of the pelvic bones were made using additive technologies. Then, a 3D digital computer model was developed, and a mold for casting the finished product was made. Bone samples were placed inside the mold, and the mold was gradually filled with a gelatin–glycerin compound, which after hardening mimics human soft tissues.

RESULTS: A prototype of a medical simulator for teaching the installation of the concomitant injury kit apparatus for unstable pelvic fractures was made.

CONCLUSION: The manufactured simulator can be widely used in educating and training specialists given its sufficiently high anatomical accuracy, ease of maintenance, and good potential for mass production.

Keywords: pelvic fracture; external fixation device; additive technologies; medical simulator.

To cite this article:

Paramonov TA, Markin IV, An VR, Kushnarev SV, Potapov PK, Vedishev KA, Varlamova NV, Muzafarov AR, Baikiev RR, Zhurbin EA, Otavin DA, Zabiroya IA. Medical simulator for the training of traumatologists: pilot work. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2022;29(3):279–288. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto110979>

ОБОСНОВАНИЕ

Переломы костей таза — один из самых сложных и опасных видов травм [1] ввиду наличия в этой области тела большого числа крупных кровеносных сосудов. Они влекут за собой частичную либо полную утрату работоспособности у пострадавших и обладают высокой летальностью [2–5]. При лечении таких травм возникает множество проблем и задач, над решением которых работают врачи самой высокой квалификации [6, 7].

В связи с тем, что в медицинской практике случаев переломов костей таза меньше, чем других видов переломов, специалистам зачастую не хватает практического опыта, наработки навыков [8–10]. Таким образом, для обучения или повышения квалификации специалистов требуется более серьёзная теоретическая подготовка, которая малопродуктивна без качественных учебных симуляторов и моделей [11].

В большинстве случаев обучающие материалы представляют собой образцы, полученные из мёртвых тканей животных, реже — людей [12]. Следовательно, возникает проблема дефицита подходящих образцов для обучения.

Учитывая все вышеперечисленные сложности, возрастает актуальность разработки, создания и внедрения в использование симулятора для отработки наложения комплекта сочетанной травмы (КСТ) при нестабильных переломах костей таза [13]. В результате анализа отечественных и зарубежных источников литературы обнаружено, что разработка подобных симуляторов практически не выполнялась, что дополнительно повышает актуальность нашей работы [14].

Цель исследования — разработать технологию и создать простую в изготовлении и применении модель медицинского симулятора, имитирующего кости и мягкие ткани верхней части бёдер и таза человека.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Выполнена экспериментальная работа по созданию опытного образца медицинского симулятора для обучения установке КСТ при нестабильных переломах костей таза.

Условия проведения

Работа проводилась в Военном инновационном технополисе «ЭРА» (Анапа), в период с октября 2021 года по январь 2022 года.

Методы оценки целевых показателей

Процесс изготовления симулятора для наложения устройства внешней фиксации КСТ при нестабильных переломах таза (в дальнейшем — симулятор) разбит на 3 основных этапа:

- изготовление анатомически точных копий костей таза;
- создание формы и подбор состава для отливки;
- отливка и постобработка.

В качестве исходных данных использовали серию компьютерных томограмм области таза и нижних конечностей в формате DICOM, полученных на компьютерном томографе в Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург). Снимки подвергали обработке в программе «3D Slicer» (Slicer Community, США) с целью получения 3D-моделей костей и внутренней поверхности формы для отливки. На основе полученных ранее в программе «SOLIDWORKS 2018» (Dassault Systèmes Solid Works Corporation, США) данных создавали трёхмерную цифровую модель формы для отливки. Далее файлы загружали в программное обеспечение «IDEA Maker» (Raise 3D Pioneering Flexible Manufacturing, Китай), где производили генерацию управляющих команд для 3D-принтера на базе созданных 3D-моделей (слайсинг) [11, 13, 15–17].

Для печати моделей костей и формы для отливки использовали принтер «Raise 3D Pro2Plus» (Raise3D Pioneering Flexible Manufacturing, Китай) и технологию печати FDM (англ. fused deposition modeling — моделирование методом послойного наплавления). В качестве материала для печати применяли нить (филамент) из акрилонитрилбутадиенстирола (ABS) диаметром 1,75 мм (Bestfilament, Россия). Условия печати: температура экструдера — 230 °С, температура стола — 100 °С, скорость печати — 60 мм/с, толщина слоя — 0,2 мм, заполнение — 75%. Выбор материала обусловлен тем, что этот вид пластика легко поддаётся механической обработке, обладает высокой прочностью на изгиб (41 МПа), предел прочности на разрыв у него составляет 22 МПа, модуль упругости при растяжении — 1627 МПа. При этом ABS-пластик хорошо растворим в ацетоне [18, 19].

Постобработку выполняли механическим методом. Далее распечатанные модели костей скрепляли с помощью технического ацетона (ГОСТ 2768–84) и жидких гвоздей (Монолит, Россия), а части формы — посредством болтов (болт номинальным диаметром резьбы 6 мм, М6) и силиконового герметика. После сборки формы на внутреннюю поверхность наносили вазелин, внутри размещали образцы костей и производили поэтапную заливку формы желатин-глицериновым составом. По завершении затвердения смеси осуществляли разборку и отделение готового изделия от формы [15].

Этическая экспертиза

Серия компьютерных томограмм была получена в обезличенном виде, поэтому согласования с этическим комитетом не требовалось.

Статистический анализ

Не проводили.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для достижения поставленной цели процесс создания симулятора разделили на 3 этапа, каждый из которых состоял из нескольких стадий (рис. 1).

Стадия 1. Изготовление анатомически точных копий костей таза

Цель этой стадии — создание образцов тазовых и бедренных костей. 1-м этапом было получение снимков

компьютерных томограмм (КТ) таза и нижних конечностей. На 2-м этапе получали цифровые трёхмерные модели костей таза и нижних конечностей путём сегментации из КТ-снимков с последующей доработкой — заполнением пустых областей (рис. 2).

Для повышения детализации и обеспечения более высокого качества печати модель костей разделили на 10 сегментов.

Полученные модели костей сохраняли в формате STL (Standard Triangulation Language) и загружали

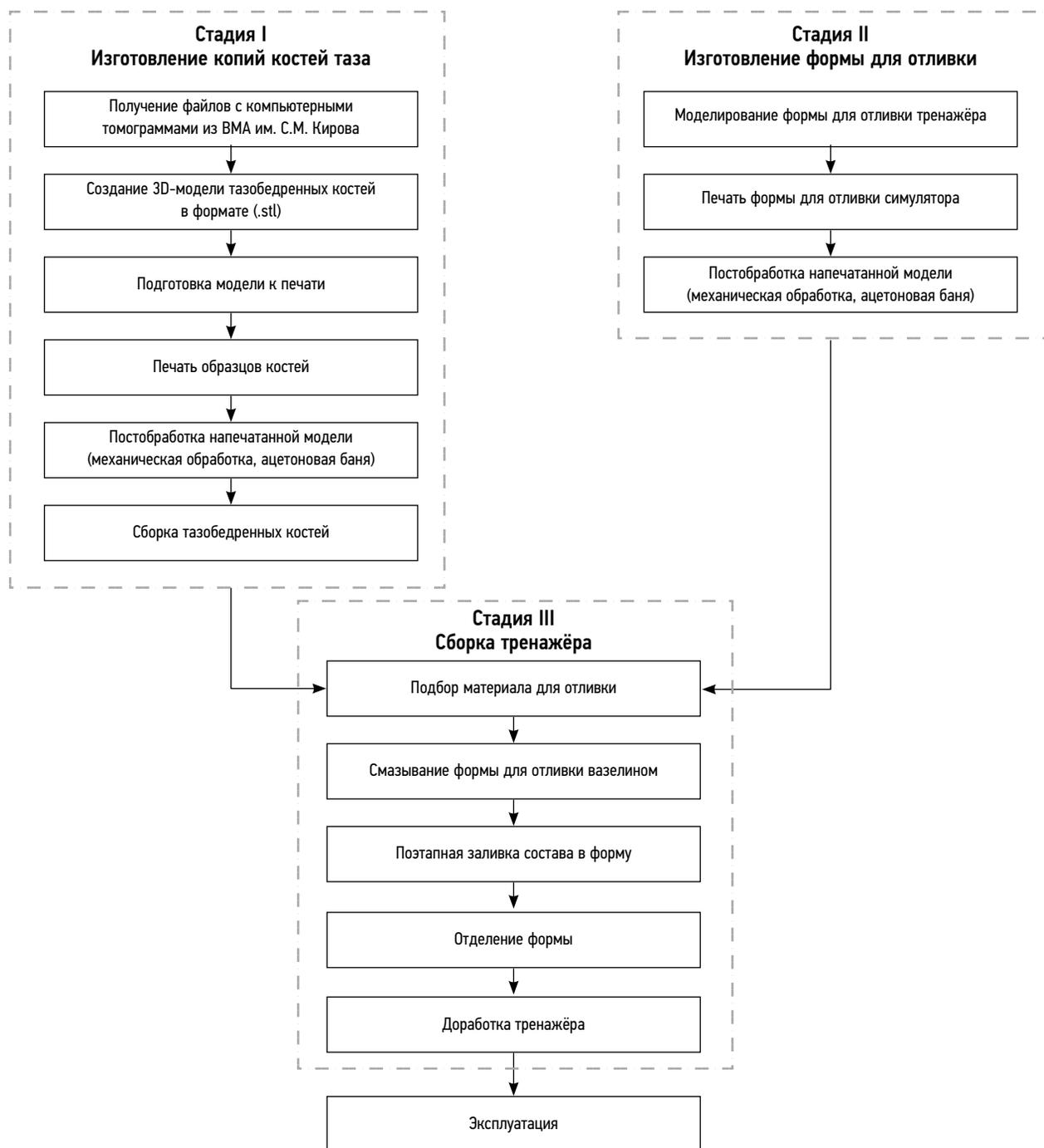


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема изготовления симулятора.

Fig. 1. Schematic diagram of the manufacturing of the simulator.



Рис. 2. Образец полученной 3D-модели таза и тазовых и бедренных костей.

Fig. 2. A sample of the obtained 3D-model of the pelvis and hip bones.

в слайсер «IDEA Maker» с целью проверки целостности слоёв моделей при рассмотрении послойного печатания. По окончании проверки файл сохраняли в формате управляющих инструкций для 3D-принтера G-code и загружали в принтер.

Для печати 3D-модели применяли принтер «Raise 3D Pro2Plus» и технологию печати FDM (рис. 3).

После соединения макета проводили его шлифовку и обработку в ацетоновой бане. Эти методы используют для удаления с поверхности модели крупных неровностей, образовавшихся в ходе печати, а также для устранения дефектов печати и сглаживания текстуры модели (рис. 4).

Стадия 2. Изготовление формы и подбор состава для отливки

На этой стадии осуществляли моделирование и печать отливочной формы по технологии, аналогичной таковой при создании моделей костей. Ввиду ограниченности печатного пространства принтера (300×300×600 мм),

а также для упрощения разборки и извлечения готового симулятора из формы модель разделили на 16 сегментов (рис. 5). Масса готовой формы составила 4 кг без учёта крепёжных узлов (болты, шайбы, гайки).

Стадия 3. Изготовление симулятора

На данной стадии производили окончательную сборку готового изделия. 1-м этапом осуществляли подбор наиболее оптимального состава материала для заливки. Критерием оптимальности выступала схожесть основных физико-механических характеристик затвердевшего состава с соответствующими усреднёнными характеристикам мягких тканей бедра человека (упругость, прочность, твёрдость и т.д.). Были испытаны 2 наиболее подходящих состава для заливки.

В качестве 1-го состава использовали пищевой желатин марки «250 bloom» (BOOM, Китай), дистиллированную воду, консерванты (сорбат калия — ГОСТ 55583-2013, бензоат натрия — ГОСТ 32777-2014). Желатин, дистиллированную воду и консерванты в определённом соотношении помещали в ёмкость и заливали водой ($t=90-100\text{ }^{\circ}\text{C}$; табл. 1). Смесь перемешивали и охлаждали до температуры $<40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 6). Из каждого варианта смеси отбирали образец массой 150 г. Образцы хранили в шкафу при температуре $30-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 96 ч для оценки их физических свойств. Образцы 7 и 8 были покрыты силиконом и минеральным маслом соответственно с целью снижения скорости испарения воды.

В результате оценки образцов установлено, что материал, в составе которого отсутствуют консерванты (образцы 1–3), в течение 48 ч демонстрирует признаки микробиологического заражения спорами микромицет. Образцы 4–6, в составе которых присутствовал консервант, не имели признаков микробиологического заражения в течение 96 ч и более, однако вследствие испарения воды в течение 24 ч на них образовалась твёрдая оболочка. Также применение консервантов необходимо для повторного использования состава, поэтому отработанный фантом мы растворяли в горячей дистиллированной воде ($90\text{ }^{\circ}\text{C}$) и использовали для заливки формы (см. табл. 1).



Рис. 3. Печать образцов костей методом послойного наплавления.
Fig. 3. Printing of bone samples by layer-by-layer fusing.



Рис. 4. Готовые образцы костей таза.
Fig. 4. Finished samples of the bones of the hip.



Рис. 5. Отливочная форма в готовом виде и на этапе моделирования.

Fig. 5. Casting mold in finished form and at the modeling stage.

Наиболее точно имитирующим мягкие ткани оказался образец 7 (содержание желатина 20%). Также возможно использование образцов 1–6 для заливки формы малого объёма с коротким (до 24 ч) сроком эксплуатации. Применение минерального масла с целью снижения скорости испарения влаги оказалось малоэффективным, покрытие силиконом имеет ограниченный эффект из-за отсутствия адгезии к поверхности. Относительно быстрое испарение воды (и высыхание формы) оказалось главным недостатком этого состава.

В связи со всеми вышеперечисленными трудностями нами был опробован *состав 2* — технический желатин марки «Т-4» (ГОСТ 11293-89) и глицерин дистиллированный (ГОСТ 6824-96). Подготовлено 4 варианта смеси, содержащих желатин и глицерин в различных соотношениях (табл. 2). Из каждого варианта смеси было отобрано по образцу массой 150 г, которые хранили в шкафу при температуре 30–32 °С в течение 96 ч для оценки их физических свойств (рис. 7).

Ввиду того, что технический желатин не подвергается достаточной очистке, образцы получились тёмного цвета, непрозрачными. Образец 1 оказался слишком мягким в сравнении с тканями человека, в то время как образец 4 был чересчур плотным. Наиболее точно имитирующими мягкие ткани по плотности стали образцы 2 и 3 (содержание желатина 20 и 30% соответственно), поэтому для дальнейшей работы нами был выбран вариант № 2.

На следующем этапе осуществляли заливку путём по сегментному добавления расплавленного желатин-глицеринового состава в форму с размещёнными внутри образцами костей и производили постобработку полученного изделия. На внутреннюю поверхность формы наносили вазелин для облегчения последующего отделения фантома, места стыковки заполняли силиконом для предотвращения вытекания смеси. Глицерин объёмом 1 л нагревали в металлической кастрюле ёмкостью 1,5 л до 120–125 °С, затем в ту же ёмкость засыпали технический желатин массой 250 г. Температуру смеси поддерживали

Таблица 1. Состав проб и оценка полученных образцов при использовании состава 1

Table 1. Sample composition and evaluation of the obtained samples using the first composition

Содержание, %	Физические свойства		Структурно-механические свойства
	Через 48 ч при $t=30-32\text{ }^{\circ}\text{C}$	Через 96 ч при $t=30-32\text{ }^{\circ}\text{C}$	
Образец 1 Желатин 10% (10 г) Вода 90% (90 мл)	Помутнение раствора	Помутнение раствора	При комнатной температуре произошёл переход в жидкое состояние
Образец 2 Желатин 20% (20 г) Вода 80% (80 мл)	Непрозрачный. Уменьшение в объёме вследствие высыхания на 15%	Уменьшение в объёме вследствие испарения воды на 25%. Обнаружены признаки микробиологического заражения	Сохраняет желеобразное состояние (требуется проверка на импровизированном анализаторе текстуры)
Образец 3 Желатин 30% (30 г) Вода 70% (70 г)	Непрозрачный. Уменьшение в объёме вследствие высыхания на 10%	Уменьшение в объёме вследствие испарения воды на 20%. Обнаружены признаки микробиологического заражения	Сохраняет желеобразное состояние (требуется проверка на импровизированном анализаторе текстуры)
Образец 4 Желатин 20% (20 г) Вода 79% (79 мл) Сорбат калия 0,5% (0,5 г) Бензоат натрия 0,5% (0,5 г)	Непрозрачный. Уменьшение в объёме вследствие высыхания на 15%	Уменьшение в объёме вследствие испарения воды на 25%. Поверхность твёрдая, признаков микробиологического заражения не обнаружено	Сохраняет желеобразное состояние (требуется проверка на импровизированном анализаторе текстуры)
Образец 5 Желатин 30% (30 г) Вода 69% (69 мл) Сорбат калия 0,5% (0,5 г) Бензоат натрия 0,5% (0,5 г)	Непрозрачный. Уменьшение в объёме вследствие высыхания на 10%	Уменьшение в объёме вследствие испарения воды на 20%. Поверхность твёрдая, признаков микробиологического заражения не обнаружено	Сохраняет желеобразное состояние (требуется проверка на импровизированном анализаторе текстуры)

Таблица 1. Окончание

Table 1. End of table

Образец 6 Желатин 40% (40 г) Вода 59% (59,5 мл) Сорбат калия 0,5% (0,5 г) Бензоат натрия 0,5% (0,5 г)	Непрозрачный. Уменьшение в объёме вследствие высыхания на 7%	Уменьшение в объёме вследствие испарения воды на 15%. Поверхность твёрдая, признаков микробиологического заражения не обнаружено	Сохраняет желеобразное состояние (требуется проверка на импровизированном анализаторе текстуры)
Образец 7 Желатин 20% (20 г) Вода 79,5% (79,5 мл) Сорбат калия 0,5% (0,5 г) Бензоат натрия 0,5% (0,5 г) Силикон	Непрозрачный. Уменьшение в объёме вследствие высыхания на 5%	Уменьшение в объёме вследствие испарения воды на 10%. Поверхность эластичная, признаков микробиологического заражения не обнаружено	Сохраняет желеобразное состояние (требуется проверка на импровизированном анализаторе текстуры)
Образец 8 Желатин 20% (20 г) Вода 79,5% (79,5 мл) Сорбат калия 0,5% (0,5 г) Бензоат натрия 0,5% (0,5 г) Минеральное масло	Непрозрачный. Уменьшение в объёме вследствие высыхания на 10%	Уменьшение в объёме вследствие испарения воды на 20%. Поверхность твёрдая, признаков микробиологического заражения не обнаружено	Сохраняет желеобразное состояние (требуется проверка на импровизированном анализаторе текстуры)



Рис. 6. Тестовый образец заливочного состава варианта 1.

Fig. 6. Test sample of the casting composition option 1.



Рис. 7. Тестовый образец заливочного состава варианта 2.

Fig. 7. Test sample of the second version of the casting composition.

Таблица 2. Состав проб и оценка образцов при использовании состава 2

Table 2. Sample composition and evaluation of samples when using the second composition

Содержание, %	Физические свойства
Образец 1 Желатин 10% (10 г) Глицерин 90% (90 мл)	Уменьшение в объёме вследствие высыхания на 6%
Образец 2 Желатин 20% (20 г) Глицерин 80% (80 мл)	Уменьшение в объёме вследствие высыхания на 5%
Образец 3 Желатин 30% (30 г) Глицерин 70% (70 мл)	Уменьшение в объёме вследствие высыхания на 5%
Образец 4 Желатин 40% (40 г) Глицерин 60% (60 мл)	Уменьшение в объёме вследствие высыхания на 4%

на уровне 120 °С на протяжении 5 мин. Для заливки в форму смесь предварительно охлаждали до температуры 90–95 °С во избежание плавления ABS-пластика (рис. 8). Заливку осуществляли в 3 этапа с интервалом в 24 ч.

Для ускорения процесса затвердевания форму помещали в холодильную камеру (температура +5 °С, t=24 ч). После того, как заливочный состав принимал однородную структуру, удаляли крепления, осуществляли разборку формы и отделение её от макета, а также постобработку изделия. В результате получили готовый симулятор КСТ со следующими параметрами: масса изделия — 30 кг, длина — 63 см, ширина — 40 см, высота — 20 см (рис. 9).

ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе моделирования и производства симулятора сформулирован ряд замечаний, а также подготовлены рекомендации по улучшению качества готового изделия и повышению его долговечности.

Важно отметить, что температура желатин-глицериновой смеси на момент приготовления составляла 120–125 °С, а во время заливки в форму — 90–95 °С. Это представляет



Рис. 8. Заполнение формы желатин-глицериновым составом.

Fig. 8. Filling the form with gelatin-glycerin composition.



Рис. 9. Симулятор для отработки наложения комплекта сочтанной травмы после снятия отливочной формы.

Fig. 9. Concomitant injury kit simulator after removing the casting mold.

потенциальную опасность разрушения формы и снижения её долговечности, а также повышает риски ожогов и травм для работников. Для снижения вероятности травматизма рекомендуется использовать спецодежду (термостойкие перчатки, фартуки и специальную обувь), а сам процесс заполнения формы выполнять в специализированной ёмкости. Помимо этого, для изготовления формы следует применять пластик, обладающий большей термостойкостью, что незначительно повысит стоимость изготовления формы, но потенциально увеличит сроки её эксплуатации.

По причине того, что по мере заполнения давление на стенки и дно формы увеличивается, необходимо пересмотреть её конструкцию, повысить плотность заполнения и число слоёв стенки, особенно для первого яруса, на который приходится максимальная нагрузка. Аналогичным образом следует укрепить и увеличить толщину дна формы во избежание её деформации. Для улучшения показателя надёжности и безопасности следует дополнить число рёбер жёсткости, время изготовления формы при этом увеличится примерно на 25–30%.

При применении технологии заливки смеси желатин-глицерин в форму критически важным является неполное

разовое заполнение её ярусов. В процессе изготовления было установлено, что оптимальное заполнение яруса — не более 75% с возможностью для смеси отстояться и немного затвердеть. В противном случае из-за высокого гидростатического давления смеси увеличивается вероятность протекания состава между стыками ярусов и частей формы.

По мере затвердения состава необходимо осуществлять постепенное ослабление крепёжных элементов для снижения риска разрушения стенок, поскольку со временем фантом расширяется, и возникает высокая нагрузка на форму.

На последней стадии съёма фантома было обнаружено, что после отливки и затвердевания состава в мягких тканях симулятора сохранились мелкие пузырьки воздуха, что некритично снижает плотность и анатомическую схожесть мягких тканей с тканями человека. Для устранения этого недостатка необходимо снизить скорость заливки смеси в форму, а также добавить стадию вибрационной обработки (простукивания) формы для упрощения и ускорения выхода пузырьков газа из плотной среды.

В ходе оценки качества готового продукта было выяснено, что паховая область симулятора обладает недостаточной плотностью, что негативно сказывается на анатомической схожести с мягкими тканями человека и, как следствие, на качестве готового изделия. При заливке этого участка рекомендуется использовать желатин-глицериновую смесь с более высокой концентрацией желатина.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённой работы разработана технология и изготовлен симулятор для отработки навыков установки аппарата внешней фиксации КСТ при нестабильных переломах костей таза, которые могут полноценно применяться в процессе обучения и подготовки специалистов, а также при повышении квалификации сотрудников медицинского профиля.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, прочли и одобрили финальную версию рукописи перед публикацией).

Author's contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвина Е.А. Экстренная стабилизация переломов костей таза у больных с политравмой // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2014. Т. 21, № 1. С. 19–25. doi: 10.17816/vto20140119-25
2. Агаджанян В.В., Милуков А.Ю., и др. Оценка результатов лечения больных, перенёсших травму таза // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2002. № 3. С. 67–70.
3. Бондаренко А.В., Круглыхин И.В., Плотников И.А., и др. Особенности лечения повреждений таза при политравме // Политравма. 2014. № 3. С. 46–57.
4. Бесаев Г.М. Повреждения таза у пострадавших с множественной и сочетанной травмой: автореф. дис. ... докт. мед. наук. Санкт-Петербург, 1999.
5. Крюков Е.В., Брижань Л.К., Давыдов Д.В., и др. Применение современных отечественных комплектов для лечения раненых и пострадавших с боевой патологией опорно-двигательной системы // 3-й Азиатско-Тихоокеанский Конгресс по военной медицине; Август 8–12, 2016; Санкт-Петербург, Россия. Санкт-Петербург, 2016. С. 80–81. Режим доступа: <https://mil.ru/medkongress.htm>. Дата обращения: 13.01.2023.
6. Донченко С.В., Дубров В.Э., Слияков Л.Ю., и др. Алгоритм хирургического лечения нестабильных повреждений тазового кольца // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2013. Т. 20, № 4. С. 9–16. doi: 10.17816/vto2013049-16
7. Драган К.А. Лечение пациентов с переломами костей таза // Сб. тезисов Международной конференции «Травма 2017: мультидисциплинарный подход»; Ноябрь 3–4, 2017; Москва, Россия. Москва – Воронеж: Научная книга, 2017. С. 36–37. Режим доступа: https://2017.trauma.pro/public/uploads/TRAUMA_2017/TRAUMA_2017_abstracts.pdf. Дата обращения: 13.01.2023.
8. Гринь А.А., Рунков А.В., Шлыков И.Л. Выбор операционного доступа при лечении двухколонных переломов вертлужной впадины // Травматология и ортопедия России. 2014. Т. 20, № 1. С. 92–97. doi: 10.21823/2311-2905-49
9. Дыдыкин А.В. Хирургическая стабилизация таза при травмах. Санкт-Петербург, 2001. Отчёт о НИР № 200077, п. 5.
10. Ahovalo J.A., Kiuru M.J., Visuri T. Fatigue stress fractures of the sacrum: diagnosis with MR imaging // *Eur Radiol*. 2004. Vol. 14, N 3. P. 500–505. doi: 10.1007/s00330-003-1989-2
11. Кушнарев С.В., Железняк И.С., Кравчук В.Н., и др. Применение 3D-моделей сердца, созданных на основе DICOM-изображений, в медицинской практике // Лучевая диагностика и терапия. 2020. Т. 11, № 3. С. 7–13. doi: 10.22328/2079-5343-2020-11-3-7-13
12. Stibolt R.D. Jr., Patel H.A., Huntley S.R., et al. Total hip arthroplasty for posttraumatic osteoarthritis following acetabular fracture: A systematic review of characteristics, outcomes, and complications // *Chin J Traumatol*. 2018. Vol. 21, N 3. P. 176–181. doi: 10.1016/j.cjtee.2018.02.004
13. Дятлов М.М. Сложные повреждения таза. Что делать? Гомель: ГомГМУ, 2006. С. 69–74.
14. Тимофеев М.Е., Шаповальянц С.Г., Полушкин В.Г., и др. Медицинские симуляторы: история развития, классификация, результаты применения, организация симуляционного образования // Вестник Новгородского государственного университета. 2015. Т. 85, № 2. С. 53–59.
15. Кушнарев С.В., Ширшин А.В. Создание трехмерных физических моделей на основе изображений компьютерной томографии (первый опыт) // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2018. Т. 37, № 4. С. 53–56.
16. Вильчевская А.Е., Лобода А.Н., Суворов В.В. Создание 3D модели сердца // Мат-лы научной конференции с международным участием «Неделя науки СПбПУ»; Ноябрь 18–23, 2019; Санкт-Петербург, Россия. Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. С. 139–141. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_43055538_98862588.pdf. Дата обращения: 13.01.2023.
17. Белодедов В.Е. 3D Реконструкция черепа человека на основе анализа КТ-изображений // Сб. статей по мат-лам ССХV Международной научно-практической конференции «Молодой исследователь: вызовы и перспективы»; Июнь 7, 2021; Москва, Россия. Москва: Интернаука, 2021. С. 497–500. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46256199>. Дата обращения: 13.01.2023.
18. Никитина Л.Л., Гаврилова О.Е. Перспективы использования современных технологий 3d-печати в производстве изделий легкой промышленности из полимерных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18, № 7. С. 224–226.
19. Никитин А.С., Зорин В.А., Тимофеева А.Г. Анализ возможности использования модифицированного вторичного АБС-пластика при производстве деталей транспортно-технологических машин // Механизация и автоматизация строительства. 2020. С. 191–196. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44616542_72474801.pdf. Дата обращения: 13.01.2023.

REFERENCES

1. Litvina EA. Emergent Stabilization of Pelvic Bones Fractures in Polytrauma. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2014;21(1):19–25. (In Russ). doi: 10.17816/vto20140119-25
2. Agadzhanian VV, Milyukov AYu, Pronskikh AA, et al. Otsenka rezul'tatov lecheniya bol'nykh, perenesshikh travmu taza. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2002;(3):67–70. (In Russ).
3. Bondarenko AV, Kruglykhin IV, Plotnikov IA, et al. Features of treatment of pelvic injuries in polytrauma. *Polytrauma*. 2014;(3):46–57. (In Russ).
4. Besaev GM. *Povrezhdeniya taza u postradavshikh s mnozhestvennoi i sochetannoi travmoi* [dissertation]. St. Petersburg; 1999. (In Russ).
5. Kryukov EV, Brizhan' LK, Davydov DV, et al. Primenenie sovremennykh otechestvennykh komplektov dlya lecheniya ranenyykh i postradavshikh s boevoi patologiei oporno-dvigatel'noi sistemy. 3rd Asia-Pacific Congress on Military Medicine; 2016 Aug 8–12; St. Petersburg, Russia. St. Petersburg; 2016. P. 80–81. Available from: <https://mil.ru/medkongress.htm>. Accessed: 13.01.2023. (In Russ).
6. Donchenko SV, Dubrov VE, Slinyakov LYu, et al. Surgical treatment for unstable pelvic ring injuries. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2013;20(4):9–16. (In Russ). doi: 10.17816/vto2013049-16
7. Dragan KA. Lechenie pacientov s perelomami kostey taza. Abstracts of the International Conference «Trauma 2017: mul'tidisciplinarny podhod»; 2017 Nov 3–4; Moscow, Russia. Moscow – Voronezh: Nauchnaya kniga; 2017. P. 36–37. Available from: https://2017.trauma.pro/public/uploads/TRAUMA_2017/TRAUMA_2017_abstracts.pdf. Accessed: 13.01.2023. (In Russ).

8. Grin' AA, Runkov AV, Shlykov IL. The choice of surgical approach in the treatment of two-column acetabular fractures. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2014;20(1):92–97. (In Russ). doi: 10.21823/2311-2905-49
9. Dydykin AV. Hirurgicheskaya stabilizatsiya taza pri travmah. St. Petersburg; 2001. Research Report No. 200077, Item 5. (In Russ).
10. Ahovu JA, Kiuru MJ, Visuri T. Fatigue stress fractures of the sacrum: diagnosis with MR imaging. *Eur Radiol*. 2004;14(3):500–505. doi: 10.1007/s00330-003-1989-2
11. Kushnarev SV, Zheleznyak IS, Kravchuk VN, et al. An application of 3D heart models created on DICOM data in medical practice. *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2020;11(3):7–13. (In Russ). doi: 10.22328/2079-5343-2020-11-3-7-13
12. Stibolt RD Jr, Patel HA, Huntley SR, et al. Total hip arthroplasty for posttraumatic osteoarthritis following acetabular fracture: A systematic review of characteristics, outcomes, and complications. *Chin J Traumatol*. 2018;21(3):176–181. doi: 10.1016/j.cjtee.2018.02.004
13. Dyatlov MM. *Slozhnye povrezhdeniya taza. Chto delat'?* Gomel: GomGMU; 2006. P. 69–74. (In Russ).
14. Timofeev ME, Shapoval'yants SG, Polushkin VG, et al. Medical simulators: history of development, classification, results of application, organization of simulation education. *Vestnik NovSU*. 2015;85(2):53–59. (In Russ).
15. Kushnarev SV, Shirnin AV. Creation of three-dimensional physical models based on CT images (first experience). *Izvestia*

of the Russian Military Medical Academy. 2018;37(4):53–56. (In Russ).

16. Vilchevskaya AE, Lobova AN, Suvorov VV. Sozdanie 3D modeli serdtsa. Proceedings of a scientific conference with international participation «Nedelya nauki SPbPU»; 18–23 Nov, 2019; St. Petersburg, Russia. St. Petersburg: POLITEKh-PRESS; 2019. P. 139–141. Available from: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_43055538_98862588.pdf. Accessed: 13.01.2023. (In Russ).
17. Belodedov VE. Rekonstruktsiya cherepa cheloveka na osnove analiza KT-izobrazhenii. Collection of articles based on the materials of the CCXV International scientific and practical conference «Molodoi issledovatel': vyzovy i perspektivy»; 7 Jun, 2021; Moscow, Russia. Moscow: Internauka; 2021. P. 497–500. Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46256199>. Accessed: 13.01.2023. (In Russ).
18. Nikitina LL, Gavrilova OE. Prospects for the use of modern 3D printing technologies in the production of light industry products made of polymer materials. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2015;18(7):224–226. (In Russ).
19. Nikitin AS, Zorin VA, Timofeeva AG. Analysis of the possibility of using modified secondary ABS plastic in the production of parts of transport and technological machines. *Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya stroitel'stva*. 2020:191–196. Available from: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44616542_72474801.pdf. Accessed: 13.01.2023. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

Парамонов Тимофей Андреевич, ефрейтор, старший оператор; e-mail: wfakgreenfurr@mail

Маркин Илья Владимирович, к.т.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9334-910X>;
eLibrary SPIN: 6021-7645; e-mail: ilya.markin.92@bk.ru

Ан Владимир Робертович, ефрейтор, оператор;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2459-4061>;
e-mail: vovan2011nsk@mail.ru

Кушнарев Сергей Владимирович, к.м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2841-2990>;
eLibrary SPIN: 5859-0480; e-mail: s.v.kushnarev@yandex.ru

Потапов Пётр Кириллович, к.м.н.;
eLibrary SPIN: 5979-4490; e-mail: forwardspb@mail.ru

Ведищев Кирилл Алексеевич, ефрейтор, старший оператор;
eLibrary SPIN: 5649-7463; e-mail: vedishev@mail.ru

Варламова Наталья Валерьевна, д.т.н., старший научный сотрудник;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6100-2427>;
eLibrary SPIN: 9139-6019; e-mail: varlamova@tpu.ru

Музафаров Артур Раузитович, ефрейтор, старший оператор; e-mail: arturmuzaf@yandex.ru

Байкиев Ренат Рафаэлевич, ефрейтор, старший оператор; e-mail: baikievrenat@gmail.com

Журбин Евгений Александрович, к.м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0867-3838>;
eLibrary SPIN: 8426-1354; e-mail: zhurbin-90@mail.ru

Отавин Денис Алексеевич, ефрейтор, старший оператор; e-mail: denizotavin@yandex.ru

***Забирова Ираида Амуровна**, инженер;
адрес: Россия, 353456, Анапа, Пионерский пр., д. 41;
e-mail: varlamova@tpu.ru

AUTHORS INFO

Timofey A. Paramonov, corporal, senior operator; e-mail: wfakgreenfurr@mail

Ilya V. Markin, MD, Cand. Sci. (Tech.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9334-910X>;
eLibrary SPIN: 6021-7645; e-mail: ilya.markin.92@bk.ru

Vladimir R. An, corporal, operator;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2459-4061>;
e-mail: vovan2011nsk@mail.ru

Sergei V. Kushnarev, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2841-2990>;
eLibrary SPIN: 5859-0480; e-mail: s.v.kushnarev@yandex.ru

Pyotr K. Potapov, MD, Cand. Sci. (Med.);
eLibrary SPIN: 5979-4490; e-mail: forwardspb@mail.ru

Kirill A. Vedishev, corporal, senior operator;
eLibrary SPIN: 5649-7463; e-mail: vedishev@mail.ru

Natalia V. Varlamova, MD, Dr. Sci. (Tech.), senior researcher;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6100-2427>;
eLibrary SPIN: 9139-6019; e-mail: varlamova@tpu.ru

Artur R. Muzafarov, corporal, senior operator; e-mail: arturmuzaf@yandex.ru

Renat R. Baikiev, corporal, senior operator; e-mail: baikievrenat@gmail.com

Evgeniy A. Zhurbin, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0867-3838>;
eLibrary SPIN: 8426-1354; e-mail: zhurbin-90@mail.ru

Denis A. Otavin, corporal, senior operator; e-mail: denizotavin@yandex.ru

***Iraida A. Zabirowa**, engineer;
address: 41 Pionersky Pr., 353456, Anapa, Russia;
e-mail: i.zabirowa@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author