

ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ СТАЦИОНАРНОГО ОТДЕЛЕНИЯ СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

¹Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет
им. акад. И.П. Павлова (Россия, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6–8);

²Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никитина МЧС России
(Россия, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2)

Актуальность. Развитие компьютерных технологий последние годы все больше внедряется в медицинскую сферу. Современные программы позволяют выполнить имитационное моделирование медицинского подразделения в режиме повседневной деятельности и при чрезвычайных ситуациях, позволяют спрогнозировать необходимое количество персонала и коечную емкость.

Цель – изучить возможности компьютерного имитационного моделирования для оптимизации работы стационарного отделения скорой медицинской помощи в чрезвычайных условиях.

Методология. При помощи программного обеспечения разработана имитационная модель реально существующего стационарного отделения скорой медицинской помощи, произведены эксперименты с формированием чрезвычайных ситуаций, результаты сравнивались с данными, полученными на практике.

Результаты и их анализ. При поступлении 50 пациентов/ч оптимальным решением стало перепрофилирование 5 коек палаты динамического наблюдения в реанимационные и размещение 10 дополнительных коек в зале ожидания, а также выделение дополнительного персонала на случай чрезвычайной ситуации: 8 врачей, 6 медицинских сестер и 2 санитаря, 4 медрегистратора. В эксперименте для работы в условиях 1-й волны пандемии COVID-19 емкости отделения оказалось достаточной для приема 164 больных за 24 ч, длительность их пребывания в отделении составила $(110,0 \pm 4,6)$ мин. Во время 2-й волны возникла необходимость применения имитационного моделирования целиком для всего медицинского учреждения, а не только для отдельных структурных подразделений.

Заключение. Планирование работы стационарного отделения скорой медицинской помощи в условиях чрезвычайной ситуации предполагает готовность к массовому поступлению больных. Тактические вопросы в данном случае целесообразно решать заблаговременно с использованием современных технологий, таких как компьютерное имитационное моделирование.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, пандемия, COVID-19, организация здравоохранения, скорая медицинская помощь, компьютерное моделирование.

Введение

В последние годы для решения проблем здравоохранения все более широко применяется компьютерное имитационное моделирование [13–15, 18]. Имитационная модель отражает множество параметров, логику и закономерности динамики моделируемого объекта во времени и пространстве [3, 5, 7].

В мировой практике распространено использование модели в планировании работы отделений и клиник в различных ситуациях [2, 17]. Внедрение этой технологии может помочь устранить стратегические ошибки, которые часто закладываются еще на этапе проектирования на уровне компьютерной модели [4, 12]. С 2013 г. в России начал меняться под-

✉ Теплов Вадим Михайлович – канд. мед. наук, руков. отд. скорой мед. помощи, доц. каф. скорой мед. помощи и хирургии повреждений, Первый С.-Петерб. гос. мед. ун-т им. акад. И.П. Павлова (Россия, 192236, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6–8), e-mail: vadteplov@mail.ru;

Алексанин Сергей Сергеевич – д-р мед. наук проф., чл.-кор. РАН, директор, Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никитина МЧС России (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2), e-mail: medicine@nrcern.ru;

Цебровская Екатерина Андреевна – врач стационарного отд-ния скорой мед. помощи, ассистент каф. скорой мед. помощи и хирургии повреждений, Первый С.-Петерб. гос. мед. ун-т им. акад. И.П. Павлова (Россия, 192236, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6–8), e-mail: tserina@bk.ru;

Белаш Василий Алексеевич – врач стационар. отд-ния скорой мед. помощи, Первый С.-Петерб. гос. мед. ун-т им. акад. И.П. Павлова (Россия, 192236, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6–8), e-mail: vasobelash@gmail.com;

Бuryкина Валерия Владимировна – врач стационар. отд-ния скорой мед. помощи, ассистент каф. скорой мед. помощи и хирургии повреждений, Первый С.-Петерб. гос. мед. ун-т им. акад. И.П. Павлова (Россия, 192236, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6–8), e-mail: burylera@yandex.ru;

Багненко Сергей Федорович – д-р мед. наук проф., академик РАН, ректор, Первый С.-Петерб. гос. мед. ун-т им. акад. И.П. Павлова (Россия, 192236, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6–8), e-mail: bagnenko_spb@mail.ru

ход к оказанию скорой, в том числе скорой специализированной, медицинской помощи в стационарных условиях. Он предполагает создание в многопрофильных больницах стационарных отделений скорой медицинской помощи (СтОСМП) [1]. Данные подразделения являются «входными воротами» в стационар, и прогнозирование их работы в чрезвычайных ситуациях различного характера играет значительную роль для всего медицинского учреждения.

Цель – изучить возможности компьютерного имитационного моделирования для оптимизации работы СтОСМП в различных чрезвычайных условиях. Для этого решались следующие задачи: создание модели, приближенной к реально функционирующему отделению; моделирование работы отделения в различных чрезвычайных ситуациях и последующая практическая реализация модели.

Материал и методы

В рамках проводимых исследований опирались на компьютерную модель СтОСМП, созданную в Первом Санкт-Петербургском государственном медицинском университете им. акад. И.П. Павлова [9, 10]. Для реализации проекта была выбрана программа Flexsim HealthCare, разработанная в 2003 г. компанией «Flexsim Software Products Inc.», применяемая для моделей учреждений здравоохранения [<https://healthcare.flexsim.com/flexsim-hc/>]. Она поддерживает различные технологии создания имитационных моделей и их комбинации, что позволяет определить пропускную способность, сбалансированность производственных линий, проверить новые методы планирования и оптимизировать производственные процессы [6, 8]. Каждая модель может быть представлена в трехмерной виртуальной реальности, что делает ее более наглядной для оценки полученных результатов.

Полученные компьютерные расчеты статистически сравнивали с реальными сроками пребывания пациентов по данным используемой в университете медицинской информационной системы, для чего применялся t-критерий Стьюдента при сравнении средних величин.

Результаты и их анализ

При моделировании СтОСМП сначала была построена 3D-модель отделения, представлены основные объекты («рабочие места» и «движимые объекты»), выделены три основ-

ные «рабочие зоны» отделения: «зеленая» – зал ожидания на 40 посадочных мест; «желтая» – палата динамического наблюдения на 10 коек; «красная» – палата реанимации и интенсивной терапии на 5 коек, предназначенных для размещения пациентов в зависимости от тяжести их состояния и объема выполняемых лечебно-диагностических процедур. Объемно-планировочная модель была создана в соответствии с имевшимися архитектурными планами (рис. 1).

Далее был осуществлен предварительный анализ функционирования отделения, для чего использовались базы данных медицинской информационной системы, позволившие определить среднее число тех или иных обследований и консультаций, выполненных поступающим больным в течение реального года, сроки пребывания пациентов и распределение их по зонам отделения. Был осуществлен реальный хронометраж времени обследований. В модель было внесено действующее штатное расписание: в течение суток в отделении работают 2 врача (врач-анестезиолог-реаниматолог и врач скорой медицинской помощи), 3 медицинские сестры, 1 санитар, 1 медицинский регистратор.

Далее были построены алгоритмы следования пациента внутри отделения с формированием так называемого «бизнес-процесса». В него были внесены возможные логистические решения внутри СтОСМП, в том числе потребность в том или ином обследовании, консультациях и сроках, рассчитанная на предстоящем этапе.

Сравнение оригинала с моделью было осуществлено с помощью 10000 электронных медицинских карт и одного года «модельного» времени работы. Реальный срок пребывания пациента в отделении составил $(4,70 \pm 0,17)$ ч, а в модели – $(5,10 \pm 0,12)$ ч. Отсутствие значимых различий ($p > 0,05$) позволило предположить, что модель соответствует реальности.

Эксперимент № 1 был направлен на определение необходимых изменений в оснащении и штатном расписании отделения в условиях предполагаемой чрезвычайной ситуации (поступление 50 человек в течение 1 ч) при наличии достаточного времени на подготовку. После ряда проведенных опытов и анализа визуальных данных, предлагаемых 3D-моделью, удалось достичь эффективного функционирования отделения за счет увеличения вдвое коечной емкости «красной» и «желтой» зон. Для этого пришлось перепро-



Рис. 1. 3D-модель СтОСМП, созданная в Первом Санкт-Петербургском государственном медицинском университете им. акад. И.П. Павлова.

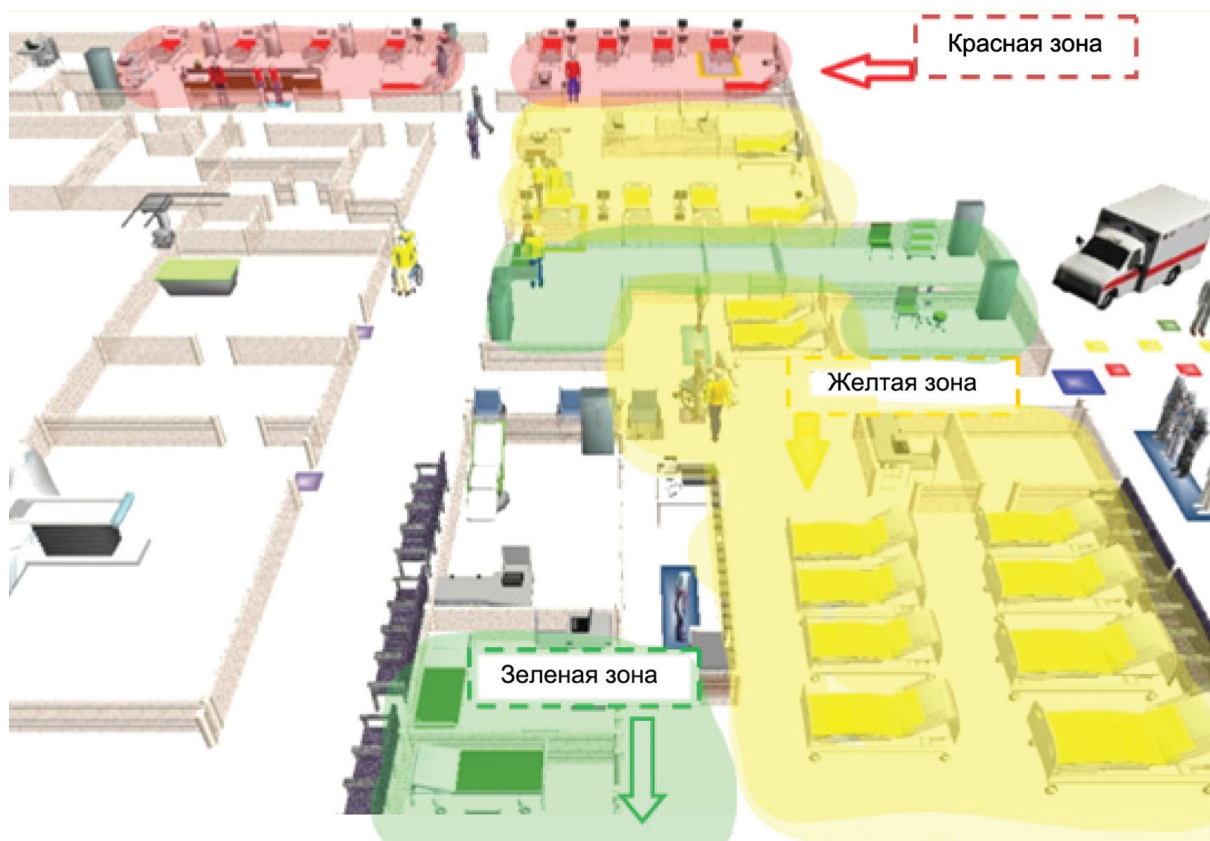


Рис. 2. 3D-модель СтОСМП в условиях массового поступления больных.

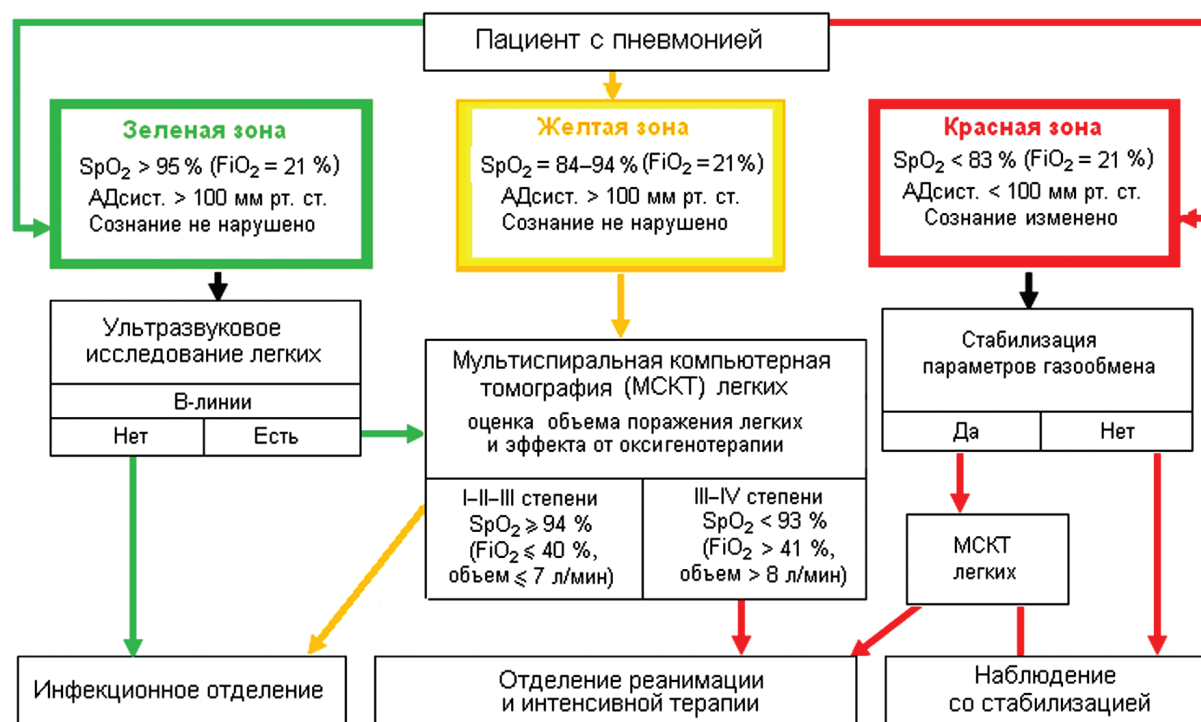


Рис. 3. Алгоритм приема пациента с подозрением на новую коронавирусную инфекцию (COVID-19).
УЗИ – ультразвуковое исследование; МСКТ – мультиспиральная компьютерная томография; ОРИТ – отделение реанимации и интенсивной терапии; пути следования потока пациентов: зеленый; желтый; красный.

филировать часть палаты динамического наблюдения (перепрофилирование 5 коек в реанимационные) и зала ожидания (выделение из резерва 10 дополнительных коек) (рис. 2), а также создать штатное расписание на случай чрезвычайной ситуации: 2 врача-анестезиолога-реаниматолога, 6 врачей скорой медицинской помощи, 6 медицинских сестер и 2 санитаря, 4 медрегистратора.

Эксперимент № 2. В модели СтОСМП перепрофилировали приемное отделение стационара, работающего в условиях чрезвычайной ситуации биолого-социального характера, например пандемия COVID-19 [11]. Эксперимент проводился в связи с реально планируемым созданием в университетской клинике Центра для лечения пациентов с новой коронавирусной инфекцией (COVID-19). В отделении должны были осуществлять прием и сортировку пациентов с одновременным проведением комплекса лечебных и диагностических мероприятий. Исходя из опубликованного международного опыта [16], а также опираясь на Временные рекомендации [Временные рекомендации по профилактике, диагностике и лечению новой коронавирусной инфекции COVID-19. Версия 6 (24 апр. 2020 г.): утв. Минздравом России] по профилактике, диагностике и лечению новой коро-

вирусной инфекции COVID-19, был разработан алгоритм приема пациентов (рис. 3).

В основу алгоритма легло проведение сортировки поступавших больных с определением их дальнейшей маршрутизации и обеспечением максимального объема обследования в приемном отделении. 1-м этапом предполагалось оценить витальные функции, основное внимание уделялось эффективности газообмена и стабильности гемодинамики. На основании полученных данных планировалось размещение пациента в упомянутых выше «зонах» отделения. В дальнейшем, в зависимости от эффекта от оксигенотерапии и результатов инструментального обследования, определяли маршрутизацию пациента.

Для формирования модели использовали соотношение: 10% пациентов реанимационного профиля, 70% пациентов в средней степени тяжести и 20% пациентов в удовлетворительном состоянии, так как предполагалось, что силами бригад скорой медицинской помощи в университет будут госпитализированы в основном тяжелые и среднетяжелые больные. В ходе эксперимента было определено, что эффективно осуществлять прием и лечение пациентов можно при наличии 3 медицинских регистраторов, 1 сортировочной медсестры и 4 врачебно-сестринских

бригад. Коечного фонда отделения оказалось достаточно, чтобы принимать до 164 больных с COVID-19 за 24 ч. При этом длительность нахождения пациентов в отделении составила ($110,0 \pm 4,6$) мин, а время ожидания бригады скорой медицинской помощи не превышало 10 мин. Поступивший получал полный объем обследования и, при необходимости, ему могли проводить терапию, направленную на стабилизацию состояния, вплоть до проведения искусственной вентиляции легких и реанимационных мероприятий

В реальности в течение первого месяца 1-й волны COVID-19 в приемное отделение поступили 865 пациентов с новой коронавирусной инфекцией. Всем им были выполнены инструментальные и лабораторные обследования в необходимом объеме, проводились требуемые лечебные мероприятия немедленно с момента госпитализации в стационар. По мере снижения числа госпитализируемых сокращалось количество дежурного персонала отделения. К концу месяца остались лишь 2 врачебно-сестринские бригады и 1 медицинский регистратор. Среднее время нахождения больного в приемном отделении при ретроспективном анализе составило ($115,0 \pm 5,8$) мин, что достоверно не отличалось от наших расчетных данных, полученных при помощи имитационного моделирования ($p > 0,05$).

В то же время, количество пациентов во время 2-й волны COVID-19 показало, что имитационное моделирование одного структурного подразделения в отрыве от всей клиники при изменении расчетных данных не всегда является эффективным. Минимальные требования в части обеспечения 70 % коечного фонда медицинскими газами, изложенные в Приложении № 10 к приказу Минздрава от 19.03.2020 г. № 198н «О временном порядке организации работы медицинских организаций в целях реализации мер по профилактике и снижению рисков распространения новой коронавирусной инфекции COVID-19», в реальности оказались недостаточными в связи с серьезным утяжелением контингента больных. Из 250

коек, развернутых в ноябре 2020 г. в университете, было обеспечено кислородом 175. Этого не хватало для размещения пациентов и привело к длительной их задержке в палатах динамического наблюдения, реанимации и интенсивной терапии приемного отделения, где продленное лечение получили 432 пациента, из них 348 человек находились в отделении от 6 ч до 1 сут, 74 – до 3 сут, а 10 – более длительное время. Данная проблема значительным образом увеличила нагрузку на медицинский персонал, который не только осуществлял прием вновь поступивших больных, но и – лечение задержавшихся пациентов. Среднее время пребывания госпитализированных больных, находившихся в приемном отделении менее 6 ч, составило ($125,0 \pm 2,2$) мин, что достоверно превысило расчетные данные в модели ($p < 0,05$). Ситуацию удалось стабилизировать увеличением коек в инфекционных отделениях, оснащенных кислородом, до 210, что составило 84 % от всего коечного фонда.

Заключение

Компьютерное имитационное моделирование позволяет прогнозировать работу отделения, а эксперименты с моделью дают возможность определить оптимальное штатное расписание и коечный фонд для повседневных условий и различных чрезвычайных ситуаций. Практическая реализация полученных данных обеспечила эффективную работу университетской клиники при перепрофилировании в инфекционный стационар во время пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19. Тем не менее, к методике необходимо относиться с определенной осторожностью, так как непредусмотренное изменение реальных обстоятельств, например, структуры входящего потока пациентов, может привести к значительному расхождению с расчетами. Для предотвращения подобных ситуаций необходимо осуществлять имитационное моделирование с различными входными данными, а также воспроизводить работу не одного структурного подразделения, а медицинского учреждения в целом.

Литература

1. Багненко С.Ф., Полушин Ю.С., Мирошниченко А.Г. Организация работы стационарного отделения скорой медицинской помощи : метод. рекомендации : 2-е изд., перераб. и доп. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2018. 64 с.
2. Боев В.Д. Исследование адекватности GPSS World и AnyLogic при моделировании дискретно-событийных процессов. СПб. : ВАС, 2011. 404 с.
3. Борщев А. В. Как строить красивые и полезные модели сложных систем // Имитационное моделирование: теория и практика : материалы конф. ИММОД-2013. Казань, 2013. С. 21–34.
4. Карасев Н.А., Кислухина Е.В., Васильев В.А. Использование теории массового обслуживания в организации лечебного процесса на госпитальном этапе скорой медицинской помощи // Вестн. междунар. акад. наук (рус. секция). 2006. № 1. С. 65–68.
5. Куликова О.М., Овсянников Н.В., Ляпин В.А. Имитационное моделирование деятельности медицинских учреждений на примере Омска // Наука о человеке: гуманитар. исслед. 2014. № 4 (18). С. 219–225.
6. Куракова Н.А. Информатизации здравоохранения как инструмент создания саморегулируемой системы организации медицинской помощи // Врач и информац. технологии. 2009. № 2. С. 9–27.
7. Маликов Р.Ф. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6 : учеб. пособие. Уфа : Изд-во БГПУ, 2013. 296 с.
8. Пальмов С.В., Жуйкова А.А. Обзор возможностей системы имитационного моделирования Flexsim в сфере здравоохранения // Междунар. науч.-исслед. журн. 2018. № 1 (67). С. 124–127. DOI: 10.23670/irj.2018.67.082.
9. Теплов В.М., Цебровская Е.А., Карпова Е.А. [и др.]. Применение имитационного моделирования для оптимизации работы стационарного отделения скорой медицинской помощи // Скорая мед. помощь. 2019. № 2. С. 14–19.
10. Теплов В.М., Цебровская Е.А., Комедев С.С. [и др.]. Применение имитационного моделирования для оптимизации работы стационарного отделения скорой медицинской помощи в многопрофильном стационаре в условиях перепрофилирования медицинского учреждения на прием пациентов с новой коронавирусной инфекцией // Скорая мед. помощь. 2020. № 4. С. 11–16.
11. Уйба В.В., Верзилин Д.Н., Максимова Т.Г. Организация медицинской помощи при ликвидации последствий техногенных катастроф: аналитико-имитационное моделирование // Имитационное моделирование: теория и практика : материалы конф. ИММОД-2007. СПб., 2007. С. 207–210.
12. Якимов И. М., Кирпичников А. П. Имитационное моделирование вероятностных объектов в системе Flexsim // Вестн. технол. ун-та. 2016. № 21. С. 170–173.
13. Cook D.A., Hatala R., Brydges R. [et al.]. Technology-enhanced simulation for health professions education: A systematic review and meta-analysis // JAMA. 2011. Vol. 306, N 9. P. 978–988. DOI: 10.1001/jama.2011.1234.
14. Dong Y., Chbat N.W., Gupta A. [et al.]. Systems modeling and simulation applications for critical care medicine // Ann. Intensive Care. 2012. Vol. 2, N 18. P. 582–592. DOI: 10.1186/2110-5820-2-18.
15. Herasevich V., Pickering B.W., Dong Y. [et al.]. Informatics infrastructure for syndrome surveillance, decision support, reporting, and modeling of critical illness // Mayo Clin. Proc. 2010. Vol. 85, N 3. P. 247–254. DOI: 10.4065/mcp.2009.0479.
16. Leclerc T., Donat N., Donat A. [et al.]. Prioritisation of ICU treatments for critically ill patients in a COVID-19 pandemic with scarce resources // Anaesthesia and Critical Care & Pain Medicine. 2020. Vol. 39, N 3. P. 333–339. DOI: 10.1016/j.accpm.2020.05.008.
17. Lloyd G.C., Bair A.E. Discrete event simulation of emergency department activity: a platform for system-level operations research // Academic Emergency Medicine. 2006. Vol. 11, N 11. P. 1177–1185. DOI: 10.1197/j.aem.2004.08.021.
18. Young T. An agenda for healthcare and information simulation // Health Care Manage Sci. 2005. Vol. 8, N 3. P. 189–196. DOI: 10.1007/s10729-005-2008-8.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи.
Поступила 24.04.2021 г.

Участие авторов: В.М. Теплов – методология исследования, планирование целей и задач, написание первого варианта статьи; С.С. Алексанин – анализ материала статьи, предложения по дальнейшему исследованию проблемы; Е.А. Цебровская – создание компьютерной модели, эксперименты с ней, изучение нормативно-правовых источников; В.А. Белаш – проведение статистической обработки и анализа основных показателей работы отделения в реальности; В.В. Бурыкина – статистическая обработка и анализ основных показателей работы отделения в экспериментах, перевод на английский язык; С.Ф. Багненко – методология исследования, редактирование окончательного варианта статьи.

Для цитирования: Теплов В.М., Алексанин С.С., Цебровская Е.А., Белаш В.А., Бурыкина В.В., Багненко С.Ф. Возможности компьютерного имитационного моделирования в оптимизации работы стационарного отделения скорой медицинской помощи в чрезвычайных ситуациях // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2021. № 4. С. 40–47. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-4-40-47

Possibilities of computer simulation in optimizing the work of the inpatient emergency department in emergency situations

Teplov V.M.^o, Aleksanin S.S.², Tsebrovskaya E.A.¹, Belash V.A.¹, Burykina V.V.¹, Bagnenko S.F.¹

¹Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University (6–8, Lev Tolstoy Str., St. Petersburg, 197022, Russia);

²The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia (4/2, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russia)

✉ Vadim Mikhailovich Teplov – PhD Med. Sci., head of the Department of Emergency Medical Care, Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University (6–8, Lev Tolstoy Str., St.-Petersburg, 197022, Russia), e-mail: vadteplov@mail.ru;

Sergey Sergeevich Aleksanin – Dr. Med. Sci., Prof., Corresponding Member, Russian Academy of Sciences, director, Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation, Medicine EMERCOM of Russia (4/2, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russia), e-mail: medicine@nrcerm.ru;

Ekaterina Andreevna Tsebrovskaya – doctor, Department of Emergency Medical Care, Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University (6–8, Lev Tolstoy Str., St.-Petersburg, 197022, Russia), e-mail: tserina@bk.ru;

Vasily Alekseevich Belash – doctor, Department of Emergency Medical Care, Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University (6–8, Lev Tolstoy Str., St.-Petersburg, 197022, Russia), e-mail: vasobelash@gmail.com

Valeria Vladimirovna Burykina – doctor, Department of Emergency Medical Care, Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University (6–8, Lev Tolstoy Str., St.-Petersburg, 197022, Russia), e-mail: burylera@yandex.ru;

Sergey Fedorovich Bagnenko – Dr. Med. Sci. Prof., Member of the Russian Academy of Sciences, rector, Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University (6–8, Lev Tolstoy Str., St.-Petersburg, 197022, Russia), e-mail: bagnenko_spb@mail.ru

Abstract

Relevance. The development of computer technology in recent years is increasingly being introduced into the medical field. Modern programs make it possible to perform imitation modeling of a medical unit in the mode of daily activities and in emergency situations, allow predicting the required number of personnel and bed capacity.

Intention. To study the possibilities of computer simulation to optimize the work of an inpatient emergency department in emergency conditions.

Methodology. With the help of software, a simulation model of a real inpatient emergency department was developed, experiments were carried out with the formation of emergency situations, the results were compared with data obtained in practice.

Results and Discussion. Upon admission of 50 patients per hour, the optimal solution was the conversion of 5 beds of the dynamic observation ward into intensive care beds and the placement of 10 additional beds in the waiting room, as well as the allocation of additional personnel in case of an emergency: 8 doctors, 6 nurses and 2 paramedics, 4 medical registrars. In the experiment of work in the conditions of the first wave of the COVID-19 pandemic, the capacity of the department was sufficient to admit 164 patients in 24 hours, the duration of their stay in the department was (110.0 ± 4.6) minutes. The second wave demonstrated the need to apply simulation modeling as a whole for the entire medical institution, and not just for individual structural units.

Conclusion. Planning the work of an inpatient emergency department in an emergency requires preparedness for massive admission of patients. In this case, it is advisable to solve tactical issues in advance, using modern technologies, such as computer simulation.

Keywords: emergency, pandemic, COVID-19, healthcare organization, emergency care, computer modeling.

References

1. Bagnenko S.F., Polushin Yu.S., Miroshnichenko A.G. Organizatsiya raboty statsionarnogo otdeleniya skoroi meditsinskoi pomoshchi [Organization of work of the inpatient emergency department]. Moscow. 2018. 64 p. (In Russ.).
2. Boyev V.D. Issledovaniye adekvatnosti GPSS World i AnyLogic pri modelirovani diskretno-sobytiynykh protsessov [Investigation of the adequacy of GPSS World and AnyLogic in the modeling of discrete-event processes]. Saint-Petersburg. 2011. 404 p. (In Russ.).
3. Borshchev A. V. Kak stroit' krasivyye i poleznyye modeli slozhnykh sistem [How to build beautiful and useful models of complex systems]. Imitatsionnoye Modelirovaniye: teoriya i praktika: [Simulation Modeling: Theory and Practice]: Scientific. Conf. Proceedings, IMMOD-2013. Kazan. 2013. Pp. 21–34. (In Russ.).
4. Karasev N.A., Kislukhina Ye.V., Vasil'yev V.A. Ispol'zovaniye teorii massovogo obsluzhivaniya v organizatsii lechebnogo protsessa na gosital'nom etape skoroy meditsinskoy pomoshchi [The use of the queuing theory in the organization of the medical process at the hospital stage of emergency medical care]. Vestnik mezhdunarodnoy akademii nauk (russkaya sektsiya) [Bulletin of the International Academy of Sciences (Russian section)]. 2006. N 1. Pp. 65–68. (In Russ.).
5. Kulikova O.M., Ovsyannikov N.V., Lyapin V.A. Imitatsionnoye modelirovaniye deyatel'nosti meditsinskikh uchrezhdeniy na primere Omska [Simulation modeling of the activities of medical institutions on the example of Omsk]. Nauka o cheloveke: gumanitarnyye issledovaniya. [Human Science: Humanities Research]. 2014. N 4. Pp. 219–225. (In Russ.).
6. Kurakova N.A. Informatizatsii zdravookhraneniya kak instrument sozdaniya samoreguliruyemoy sistemy organizatsii meditsinskoy pomoshchi [Informatization of healthcare as a tool for creating a self-regulatory system for organizing medical care]. Vrach i informatsionnyye tekhnologii [Physician and information technology]. 2009. N 2. Pp. 9–27.

7. Malikov R.F. Praktikum po imitatsionnomu modelirovaniyu slozhnykh sistem v srede AnyLogic 6 [Workshop on simulation of complex systems in the AnyLogic 6]. Ufa. 2013. 296 p. (In Russ.).
8. Pal'mov S.V., Zhuykova A.A. Obzor vozmozhnostey sistemy imitatsionnogo modelirovaniya Flexsim v sfere zdравookhoroneniya. [Review of possibilities of Flexsim imitation modeling system in healthcare]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International research journal]. 2018. N 1. Pp. 124–127. DOI: 10.23670/irj.2018.67.082. (In Russ.).
9. Teplov V.M., Tsebrovskaya E.A., Karpova E.A. [et al.]. Primeneniye imitatsionnogo modelirovaniya dlya optimizatsii raboty statsionarnogo otdeleniya skoroy meditsinskoй pomoshchi [Application of simulation modeling to optimize the work of the inpatient emergency department]. *Skoraya meditsinskaya pomoshch'* [Emergency medical care]. 2019. N 2. Pp. 14–19. (In Russ.).
10. Teplov V.M., Tsebrovskaya E.A., Komedeв S.S. [et al.]. Primeneniye imitatsionnogo modelirovaniya dlya optimizatsii rabotystatsionarnogo otdeleniya skoroy meditsinskoй pomoshchi v mnogoprofil'nom statsionare v usloviyakh pereprofilirovaniya meditsinskogo uchrezhdeniya na priyem patsiyentov s novoy koronavirusnoy infektsiyey [The use of simulation modeling to optimize the operation of an inpatient emergency department in a multidisciplinary hospital in the context of a re-profiling of a medical institution to receive patients with a new coronavirus infection]. *Skoraya meditsinskaya pomoshch'* [Emergency medical care]. 2020. N 4. P. 11–16. (In Russ.).
11. Uyba V.V., Verzilin D.N., Maksimova T.G. Organizatsiya meditsinskoй pomoshchi pri likvidatsii posledstviy tekhnogennykh katastrof: analitiko-imitatsionnoye modelirovaniye [Organization of medical care during the elimination of the consequences of man-made disasters: analytical and simulation modeling]. *Imitatsionnoye modelirovaniye: teoriya i praktika*: [Simulation Modeling: Theory and Practice]: Scientific. Conf. Proceedings, IMMOD-2007. Saint-Petersburg/2007. Pp. 207–210. (In Russ.).
12. Yakimov I. M., Kirpichnikov A. P. Imitatsionnoye modelirovaniye veroyatnostnykh ob"yektov v sisteme Flexsim [Simulation of probabilistic objects in the Flexsim system]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Technological University Bulletin]. 2016. N 21. Pp. 170–173. (In Russ.).
13. Cook D.A., Hatala R., Brydges R. [et al.]. Technology-enhanced simulation for health professions education: A systematic review and meta-analysis. *JAMA*. 2011. Vol. 306, N 9. Pp. 978–988. DOI: 10.1001/jama.2011.1234.
14. Dong Y., Chbat N.W., Gupta A. [et al.]. Systems modeling and simulation applications for critical care medicine. *Ann. Intensive Care*. 2012. Vol. 2, N 18. Pp. 582–592. DOI: 10.1186/2110-5820-2-18.
15. Herasevich V., Pickering B.W., Dong Y. [et al.]. Informatics infrastructure for syndrome surveillance, decision support, reporting, and modeling of critical illness. *Mayo Clin. Proc.* 2010. Vol. 85, N 3. Pp. 247–254. DOI: 10.4065/mcp.2009.0479.
16. Leclerc T., Donat N., Donat A. [et al.]. Prioritisation of ICU treatments for critically ill patients in a COVID-19 pandemic with scarce resources. *Anaesthesia and Critical Care & Pain Medicine*. 2020. Vol. 39, N 3. Pp. 333–339. DOI:10.1016/j.accpm.2020.05.008.
17. Lloyd G.C., Bair A.E. Discrete event simulation of emergency department activity: a platform for system-level operations research. *Academic Emergency Medicine*. 2006. Vol. 11, N 11. Pp. 1177–1185. DOI: 10.1197/j.aem.2004.08.021.
18. Young T. An agenda for healthcare and information simulation. *Health Care Manage Sci.* 2005. Vol. 8, N 3. Pp. 189–196. DOI: 10.1007/s10729-005-2008-8.

Received 24.04.2021

For citing. Teplov V.M., Aleksanin S.S., Tsebrovskaya E.A., Belash V.A., Burykina V.V., Bagnenko S.F. Vozmozhnosti komp'yuternogo imitatsionnogo modelirovaniya v optimizatsii raboty statsionarnogo otdeleniya skoroy meditsinskoй pomoshchi v chrezvychaynykh situatsiyakh. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2021. N 4. Pp. 40–47. (In Russ.).

Teplov V.M., Aleksanin S.S., Tsebrovskaya E.A., Belash V.A., Burykina V.V., Bagnenko S.F. Possibilities of computer simulation in optimizing the work of the inpatient emergency department in emergency situations. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2021. N 4. Pp. 40–47. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-4-40-47.