



Кириллова Ирина Васильевна, кандидат физико-математических наук, директор Образовательно-научного института наноструктур и биосистем, panobio@sgu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8053-3680>, AuthorID: 179980

Коссович Леонид Юрьевич, доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой математической теории упругости и биомеханики, президент СГУ, president@sgu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4775-7348>, AuthorID: 2935

Фалькович Александр Савельевич, доктор технических наук, профессор кафедры информатики и программирования, falkovichas@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9079-3064>, AuthorID: 459455

Микитюк Сергей Иванович, кандидат медицинских наук, ²начальник отделения клиники военно-полевой хирургии; ³старший преподаватель учебного центра, smikityuk@yandex.ru, AuthorID: 927383

Петров Артем Викторович, врач травматолог-ортопед отделения сочетанной травмы, alecnicitin@gmail.com, AuthorID: 935007

Аннотация. На основе регрессионного, факторного и дискриминантного анализа обезличенных данных 1082 пострадавших с сочетанными травмами таза разработаны прогностические логит-модели, включающие такие показатели, как возраст, вариант механизма повреждения таза, результаты по шкалам оценки степени нарушения сознания и комы Глазго и итоговые количественные баллы тяжести повреждения по каждой из трех часто используемых шкал (Ю. Н. Цибина, ВПХ-П (МТ), ISS). Получившиеся три модели для каждой из трех шкал тяжести повреждения имеют практически равную эффективность прогноза для зависимой переменной «исход». Выявленные закономерности и формализованные в коэффициентах модели прогнозирования летального исхода лечения травмы таза легли в основу программных реализаций в табличной форме и в виде калькулятора. В ходе апробации было подтверждено удобство использования и удовлетворительная точность прогнозов.

Ключевые слова: факторы риска, классификация, прогностическая логит-модель тяжести травмы, прогноз летального исхода, калькулятор по тяжести травмы таза

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Фонда перспективных исследований (договор № 6/130/2018-2021 от 01.06.2018 г.).

Для цитирования: Дмитриев П. О., Харламов А. В., Кажанов И. В., Кириллова И. В., Коссович Л. Ю., Фалькович А. С., Микитюк С. И., Петров А. В. Спецификация прогностических моделей и программная реализация калькулятора для прогноза летального исхода при сочетанной травме таза // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2022. Т. 22, вып. 3. С. 376–392. <https://doi.org/10.18500/1816-9791-2022-22-3-376-392>, EDN: CQUHLI

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Specification of prognostic models and software implementation of a calculator for predicting a fatal outcome in a combined pelvic injury

P. O. Dmitriev¹✉, A. V. Kharlamov¹, I. V. Kazhanov^{2,3,4}, I. V. Kirillova¹, L. Yu. Kossovich¹, A. S. Falkovich¹, S. I. Mikityuk^{2,3}, A. V. Petrov³

¹Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

²S. M. Kirov Military Medical Academy of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 6 Academician Lebedeva St., Saint Petersburg 194044, Russia



³Saint-Petersburg Institute of Emergency Care n.a. I. I. Dzhanelidze, 3A Budapest St., Saint Petersburg 192242, Russia

⁴Academician I. P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University, 6–8 L'va Tolstogo St., Saint Petersburg 197022, Russia

Pavel O. Dmitriev, stooune@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5791-0713>, AuthorID: 865621

Alexander V. Kharlamov, harlamovav63@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1709-6518>, AuthorID: 148970

Igor V. Kazhanov, carta400@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2880-2630>, AuthorID: 880404

Irina V. Kirillova, nano-bio@sgu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8053-3680>, AuthorID: 179980

Leonid Yu. Kossovich, president@sgu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4775-7348>, AuthorID: 2935

Alexander S. Falkovich, falkovichas@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9079-3064>, AuthorID: 459455

Sergey I. Mikityuk, smikityuk@yandex.ru, AuthorID: 927383

Artem V. Petrov, alecnicitin@gmail.com, AuthorID: 935007

Abstract. Based on the regression, factor and discriminant analysis of the depersonalized data of 1082 patients with combined pelvic injuries, prognostic logit models were developed, including such factors as age, the variant of the mechanism of pelvic injury, results of the assessment of the degree of impaired consciousness and coma on the Glasgow scale, and total quantitative scores of damage severity for each of the three commonly used scales (Yu. N. Tsibin's, VPH-P (MT), ISS). The resulting three models for each of the three scales of injury severity have almost equal prediction efficiency for the dependent variable "outcome". The revealed regularities and the coefficient-formalized models for the predicting of the fatal outcome of pelvic injury treatment formed the base for the software implementations in the forms of tables and the calculator. During the testing, the usability as well as the satisfactory prediction accuracy were confirmed.

Keywords: risk factors, classification, prognostic logit model of injury severity, fatal outcome prediction, pelvic injury severity calculator

Acknowledgements: The work was supported by the Russian Foundation for Advanced Research (contract No. 6/130/2018-2021 of 01.06.2018).

For citation: Dmitriev P. O., Kharlamov A. V., Kazhanov I. V., Kirillova I. V., Kossovich L. Yu., Falkovich A. S., Mikityuk S. I., Petrov A. V. Specification of prognostic models and software implementation of a calculator for predicting a fatal outcome in a combined pelvic injury. *Izvestiya of Saratov University. Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2022, vol. 22, iss. 3, pp. 376–392 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9791-2022-22-3-376-392>, EDN: CQUHLI

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Оценка рисков летальности, осложнений и рецидивов, выявление значимых факторов, влияющих на выбор и результат лечения, — все это является актуальными задачами доказательной медицины. В настоящее время, когда усиленное внимание уделяется цифровизации различных сфер деятельности, для решения этих задач используется эффективный и удобный инструмент — математическое моделирование. Этот инструмент позволяет, во-первых, провести статистический анализ эмпирических данных, выявить объективно присущие закономерности исследуемых явлений и процессов и облечь их в математические формулы, пригодные для дальнейшего исследования, а во-вторых, реализовать полученные математические модели в виде компьютерных программ, получив эффективный инструментарий для решения



конкретных прикладных задач. Целью представленного исследования является выявление факторов, влияющих на результат лечения пострадавших с сочетанными травмами таза, построение прогностических логит-моделей определения исхода в остром периоде травматической болезни и разработка электронного приложения расчета соответствующей вероятности. Достижение этой цели поможет в разработке инновационной тактики хирургической стабилизации таза с использованием технологий минимально инвазивной внутренней фиксации в остром периоде травматической болезни в условиях травмоцентра I уровня.

Прогностические логит-модели для определения вероятности неблагоприятного исхода при сочетанных травмах таза построены для каждой из наиболее часто используемых шкал оценки тяжести повреждения (ВПХ-П (МТ), ISS, Ю. Н. Цибина). Эти модели можно использовать совместно или ограничиться одной из них — в зависимости от предпочтений хирурга. Прогностические модели достаточно широко применяются в медицинской практике и теоретических исследованиях. Выявленные закономерности, представленные в виде готового программного продукта, служат дополнительным инструментарием, повышающим качество лечения. Проведенное исследование стоит в одном ряду с аналогичными разработками, посвященными прогнозированию качества и результата лечения. Так, в [1] в результате исследования предложена модель прогноза качества оперативного лечения в виде прогнозного дерева с рекомендуемыми вариантами хирургического лечения. В [2] проводится ретроспективное исследование, в ходе которого разрабатывается и тестируется прогностическая модель повреждения артерии после тупых разрывов тазового кольца, включающая количественную оценку объема гематомы таза. В работе [3] проведен анализ данных (в том числе и по ВПХ) пациентов с сочетанной травмой, компонентом которой было повреждение челюстно-лицевой области. Авторы работ [4, 5] также проводят анализ доступных им данных и строят прогностические модели. В [6] строятся и анализируются прогностические модели регрессии, дискриминирующие пациентов по классам выживаемости. В [7] исследуется спецификация модели прогнозирования вероятности летального исхода при ишемической болезни сердца и при ее отсутствии. Применение логистической регрессии для выявления рисков рецидивов хирургического лечения можно найти в [8–10]. Рекомендации по реализации технологии прогнозирования можно видеть в различных литературных источниках, например [11–13]. Стоит отметить интерес исследователей и в этой сфере к применению искусственных нейронных сетей [14, 15], на данном этапе показывающих примерно такое же качество, как и применяемые статистические методы. В достаточной мере встречаются разработки прогностических моделей [16–19], доведенные до программного решения и имеющие свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [20]. В последнее время все более широкое распространение получают различные мобильные приложения, позволяющие врачу выполнить измерения, обработать данные и получить персонализированную дополнительную информацию [21–23]. Последняя разработка зарегистрирована в реестре отечественного ПО (запись № 10520 от 06.05.2021 в Едином реестре российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных).

1. Данные

Основу работы составили материалы, которые были получены в СПб НИИ СП им. И. И. Джанелидзе в периоды с 2010 по 2014 г. и с 2015 по 2020 г. при обследовании и стационарном лечении 1082 пострадавших с сочетанными травмами таза (СТТ).



По упомянутым пациентам представлена «обезличенная» информация: пол и возраст пациента; параметры, отражающие тяжесть состояния: пульс, систолическое артериальное давление (САД), балльное значение по шкале комы Глазго, величина острой кровопотери, степень травматического шока; биохимические показатели крови: рН (кислотность), ВЕ (дефицит оснований), лактат; механизм повреждения тазового кольца (классификация [24]), тип перелома костей таза (классификация [25, 26]), объем гемотрансфузии в первые сутки, количество койко-дней, проведенных в травмоцентре; характер и сроки оперативного лечения по хирургической стабилизации таза; исход (выжил/умер); наличие осложнений. Для описания тяжести повреждений применяли несколько шкал: Ю. Н. Цибина, ВПХ-П (МТ), AIS, ISS. Соответствующее описание можно найти, например, в [27]. На начальном этапе анализа проведена очистка и оцифровка данных. Данные отличались неполнотой. Для некоторых показателей (Рн, ВЕ, лактат, объем гемотрансфузии) представление было на уровне 20% общего объема или менее. Поэтому для анализа данных, содержащих эти показатели, была сформирована отдельная малая выборка. Десять процентов показателей были представлены в количественной шкале, 66% в порядковой и 24% в номинальной. Показатели, представленные в номинальной шкале, ранжировались согласно усилению/ослаблению соответствующего признака. В ходе верификации моделей в ранжировки вносились коррекции, окончательный вариант ранжировок дан в табл. 1–4.

Таблица 1 / Table 1

Ранжирование показателя «механизм повреждения тазового кольца»
Ranking of the indicator “mechanism of pelvic ring damage”

Номинальное значение показателя	A(1,2,3)	API	LCI	LCII(A,B)	APII, BB	LCIII	APIII	VS	CM
Ранг	0	1	2	3	4	5	6	7	8

Примечание. Стабильное повреждение таза (тип A(1,2,3)), передне-задняя компрессия (типы API, APII, APIII), сложный перелом вертлужной впадины (тип BB), боковая компрессия (типы LCI, LCII(A,B), LCIII); вертикальный сдвиг (тип VS), комбинированная нестабильность (тип CM).

Таблица 2 / Table 2

Ранжирование показателя «классификация травмы по АО»
Ranking of the indicator “classification of injuries by AO”

Номинальное значение показателя	A	B	BB	C
Ранг	0	1	1	2

Примечание. Стабильное повреждение таза (тип A), ротационно-нестабильное повреждение таза (тип B), сложный перелом вертлужной впадины (тип BB), вертикально-нестабильное повреждение таза (тип C).

Пол пациентов ранжировался как 0 (женщины) и 1 (мужчины); альтернативные показатели также ранжировались как 0/1. Количественные показатели применялись без изменений. Окончательно для статистического анализа была подготовлена база из 1082 наблюдений, характеризующихся 61 показателем.



Таблица 3 / Table 3

Ранжирование показателя «дислокация срединных структур головного мозга»
Ranking of the indicator "dislocation of the median structures of the brain"

Значение показателя, мм	Менее 5	От 5 до 10	Более 10
Ранг	0	1	2

Таблица 4 / Table 4

Ранжирование показателя «острая кровопотеря»
Ranking of the indicator "acute blood loss"

Номинальное значение показателя	Ранг
Острая кровопотеря легкой степени тяжести	0
Острая кровопотеря средней степени тяжести	1
Острая кровопотеря тяжелой степени тяжести	2
Острая кровопотеря крайне тяжелой степени тяжести	3

2. Предварительный анализ

Как правило, «медицинские» показатели пациентов являются во многом взаимосвязанными, что усложняет корректное применение методов статистического анализа, в которых основным требованием является независимость данных. Поэтому на первом этапе исследования к очищенным и оцифрованным показателям применялся корреляционный и факторный анализы. Применение факторного анализа позволило выявить группы взаимосвязанных показателей. Вся совокупность исходных данных разделилась на 13 факторов, объясняющих порядка 74% вариаций. Выявленные факторы показали присутствие избыточного количества взаимосвязанных показателей. Так, с первым фактором оказались связаны показатели тяжести травмы груди, измеренные в разных шкалах, с четвертым фактором оказались связаны исключительно показатели тяжести травмы спинного мозга. Соответствующие факторные нагрузки колебались в диапазоне от 0.8 до 0.9. Факторные нагрузки суммарных значений тяжести травмы, измеренные в различных шкалах, находились в диапазоне от 0.5 до 0.6. Факторы в основном разделили показатели по областям травм и позволили обнаружить группы независимых показателей, слабо связанных с травмами, например пол и возраст. Проведенный корреляционный анализ позволил рассчитать парные коэффициенты корреляции и подтвердить наличие тесных взаимосвязей между показателями. В табл. 5 представлены значения выборочного парного коэффициента корреляции для некоторых, практически идентичных, показателей.

Данный факт пришлось учитывать при построении и оценке прогностической модели. То есть некоторые показатели пострадавшего с СТТ являются эквивалентными с точки зрения статистической информации и могут быть взаимозаменяемыми, что позволяет специфицировать различные модели прогноза. По результатам факторного и корреляционного анализа из дальнейшего исследования были исключены показатели, являющиеся номинальным представлением количественных показателей, например «результат прогнозирования по шкале Ю. Н. Цибина» и «тяжесть повреждения по шкале Ю. Н. Цибина». Корреляционный анализ также показал наличие статистически подтвержденной взаимосвязи практически между всеми показателями (значение выборочного парного коэффициента корреляции, превосходящее значение 0.11, статистически достоверно отличимо от нуля). Тем не менее, выявлен ряд показателей,



Таблица 5 / Table 5

Значения парного коэффициента корреляции между показателями
Values of the paired correlation coefficient between the indicators

Показатель 1	Показатель 2	Коэффициент корреляции
Дислокация срединных структур головного мозга	Тяжесть повреждения по шкале ПХ-РТ (ЧМТ)	0.99
Дислокация срединных структур головного мозга	Тяжесть повреждения по шкале ВПХ-П (МТ)	0.97
Тяжесть повреждения по шкале ВПХ-П (МТ)	Тяжесть повреждения по шкале ВПХ-РТ (ЧМТ)	0.95
Классификация травмы по АО	Тяжесть повреждения по шкале ВПХ-РТ	0.99

имеющих достаточно слабую взаимосвязь с остальными, что также подтверждается результатами факторного анализа. Например, показатель «пол» имеет слабую связь только с показателем «возраст» (соответствующий парный коэффициент корреляции $R = 0.23$) и практически не связан с другими. Это может свидетельствовать об отсутствии различий в показателях пациентов, зависящих от пола.

3. Спецификация модели

На втором этапе статистического исследования для прогнозирования вероятности летального исхода лечения специфицировалась регрессионная логит-модель. Общий вид модели:

$$P = f(a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_kX_k),$$

здесь $f(x)$ — логистическая функция; P — прогнозируемая вероятность события (летального исхода); X_1, X_2, \dots, X_k — факторы, значимо влияющие на результат лечения; $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$ — оцениваемые коэффициенты. По исходным данным из всех показателей выявляются факторы, оказывающие значимое (неслучайное) влияние на результаты лечения, рассчитываются оценки параметров и строится прогностическая модель. Если для нового пациента вычисленная (оцененная) вероятность больше $P > P^* = 0.5$, то прогнозируется летальный исход. Заметим, что изменение уровня вероятности P^* при прогнозировании события можно применять в Р.О.С.-анализе для уменьшения ложных положительных или ложных отрицательных исходов. Для построения отладочной модели из имеющихся 1082 записей в качестве обучающей выборки случайным образом был сформирован массив из 900 записей (примерно 83%). Специфицирована следующая модель:

$$P = f(-1.33 + 0.05 \text{ «возраст»} \\ + 0.10 \text{ «тяжесть повреждения по шкале ВПХ-П(МТ)»} \\ + 0.12 \text{ «механизм повреждения тазового кольца»} \\ - 0.39 \text{ «шкала комы Глазго»}).$$

Все коэффициенты значимы на уровне менее 5%. Качество прогноза (совпадение реальных и моделируемых исходов) составило 91.1%. Применение построенной модели к тестовой выборке, содержащей не включенные в обучающую выборку 182 записи,



показало совпадение прогноза с реальными исходами 91.3%. Такое высокое качество прогноза позволило в дальнейшем специфицировать и исследовать модель по всей исходной выборке:

$$P = f(-1.34 + 0.05 \text{ «возраст»} \\ + 0.10 \text{ «тяжесть повреждения по шкале ВПХ-П(МТ)»} \\ + 0.14 \text{ «механизм повреждения тазового кольца»} \\ - 0.39 \text{ «шкала комы Глазго»}).$$

Эффективность предсказаний — 91.6%. Построенная модель выдает ответ в виде вероятности бинарного события (1 — неблагоприятный или 0 — благоприятный исход) в зависимости от значения указанной выше вычисленной вероятности P . Если вычисленная соответствующая вероятность меньше 0.5, то предполагали, что событие (летальный исход) не произойдет. Применение дискриминантного анализа к исходным данным позволило построить дискриминирующие функции, дающие прогнозные результаты, аналогичные результатам регрессионного анализа. Статистически значимые факторы, выявленные в логит-моделях, показали хорошее разделение показателей: качество классификации также оказалось более 91%. С учетом предварительного анализа исходных данных по пострадавшим разработаны прогностические логит-модели, включающие такие показатели, как возраст, вариант механизма повреждения таза с учетом классификации [23], итоговый количественный балл тяжести повреждения по одной из часто используемых шкал (Ю. Н. Цибина, ВПХ-П (МТ), ISS), результат по шкале оценки степени нарушения сознания и комы Глазго. Это позволило построить для каждой из трех наиболее часто используемых шкал для расчета тяжести повреждения индивидуальную прогностическую логит-модель для зависимой переменной «исход», практически равной эффективности прогноза. Специфицированы следующие модели:

$$P = f(-1.34 + 0.05 \text{ «возраст»} \\ + 0.10 \text{ «тяжесть повреждения по шкале ВПХ-П(МТ)»} \\ + 0.14 \text{ «механизм повреждения тазового кольца»} \\ - 0.39 \text{ «шкала комы Глазго»}),$$

коэффициент детерминации 0.48, верно предсказано 91.6% случаев;

$$P = f(-2.81 + 0.05 \text{ «возраст»} \\ + 0.07 \text{ «тяжесть повреждения по шкале ISS»} \\ + 0.16 \text{ «механизм повреждения тазового кольца»} \\ - 0.37 \text{ «шкала комы Глазго»}),$$

коэффициент детерминации 0.48, верно предсказано 91.2% случаев;

$$P = f(0.05 \text{ «возраст»} \\ + 0.08 \text{ «тяжесть повреждения по шкале Ю. Н. Цибина»} \\ + 0.21 \text{ «механизм повреждения тазового кольца»} \\ - 0.28 \text{ «шкала комы Глазго»}),$$

коэффициент детерминации 0.45, верно предсказано 90.3% случаев.



Вклад в летальность для каждого фактора представлен в табл. 6, а сравнительный анализ моделей — в табл. 7. Все формулы, судя по данным табл. 7, дают схожие по качеству результаты. Это свидетельствует об одинаковой пригодности всех трех шкал классификации повреждений. В то же время одновременное использование трех шкал позволит при накоплении фактического материала выбрать наиболее удобную шкалу. Исследование «урезанной» выборки, состоящей из 261 наблюдения, но включающей дополнительные параметры (Ph, BE, лактат, объем гемотрансфузии), позволило выявить еще один фактор, значимо влияющий на исход лечения, — показатель кислотности Ph, и специфицировать дополнительные модели прогноза с учетом этого показателя, например:

$$P = f(43.6 + 0.06 \text{ «возраст»} + 0.14 \text{ «тяжесть повреждения по шкале Ю. Н. Цибина»} + 0.24 \text{ «механизм повреждения тазового кольца»} - 0.31 \text{ «шкала комы Глазго»} - 6.04 \text{ «Ph»}).$$

Таблица 6 / Table 6

Вклад в летальность факторов, используемых в прогностических логит-моделях
Contribution to the lethality of the factors used in predictive logit models

Признаки	Шкалы для расчета тяжести повреждения		
	По Ю. Н. Цибину	ВПХ-П (МТ)	ISS
Возраст	0.048771	0.049717	0.04939
Механизм повреждения тазового кольца	0.180671	0.1357	0.159387
Общая тяжесть повреждения	0.08457	0.095444	0.073887
Шкала комы Глазго	-0.45759	-0.39387	-0.37099
Эффективность	90.3%	91.6%	91.2%

Примечание. Вклад в летальность для фактора рассчитывался как прирост (знак плюс) или уменьшение (знак минус) соответствующей вероятности при средних значениях всех прочих факторов модели и увеличении на фиксированное значение данного фактора (частная производная).

Таблица 7 / Table 7

Оценка информативности прогностических логит-моделей, %
Evaluation of the informative value of predictive logit models, %

Показатели информативности	Шкалы для расчета тяжести повреждения		
	По Ю. Н. Цибину	ВПХ-П (МТ)	ISS
Чувствительность	88.9	93.2	93.0
Специфичность	79.6	80.3	78.5
Прогностическая ценность положительного результата	96.9	96.8	96.4
Прогностическая ценность отрицательного результата	60.0	64.8	64.3
Точность	90.7	91.6	91.4



Данная модель верно предсказывала благоприятный или неблагоприятный исход в 89.4% случаев. Однако, если рассматривать отдельно неблагоприятные прогнозы, результат был неудовлетворительным (55.0% верно предсказанных летальных исходов и 45.0% ложных прогнозов). Коэффициент детерминации модели составил 0.35. Аналогичная ситуация по прогнозу была и для моделей с использованием прочих шкал тяжести травмы. Независимые эксперты авторы такой прогноз сочли ненадежным, и из дальнейшего анализа эти модели были исключены. Очевидно, накопление дополнительных данных позволит вернуться к этому исследованию.

4. Программные реализации моделей «Калькулятор по тяжести травмы таза»

Выявленные закономерности позволили построить программные реализации моделей для прогнозирования летального исхода лечения. Для удобства прогнозирования программные реализации задействуют в расчетах все специфицированные модели одновременно, что позволяет использовать любую из рассмотренных выше шкал (Ю. Н. Цибина, ВПХ-П (MT), ISS). Программные реализации составлены в нескольких вариантах. Первая создана в среде EXCEL и может применяться для анализа массовых данных в целях усовершенствования моделей и построения новых, в том числе и графически наглядных, например R.O.C.-анализа. В дополнение к формулам в файле EXCEL, обрабатывающим заполненные строки, был добавлен скрипт, написанный на Visual Basic for Application. В скрипте закодированы упомянутые выше формулы, но ввод данных осуществляется через поля формы. Расчет выполняется после нажатия кнопки «Прогноз», при этом введенные данные и результаты расчета добавляются в конец таблицы на листе EXCEL. Переход от работы непосредственно в ячейках EXCEL к вводу данных с помощью полей формы позволил автоматизировать и унифицировать кодировку параметров, используемых в расчетах, поскольку они выбираются из выпадающего списка. Для совмещения обоих методов на лист была добавлена кнопка вызова формы. Это позволяет добавлять данные одного пациента с помощью формы, а данные большого количества пациентов — копированием их в соответствующие ячейки. Как выглядит лист с таблицей, можно видеть на рис. 1.

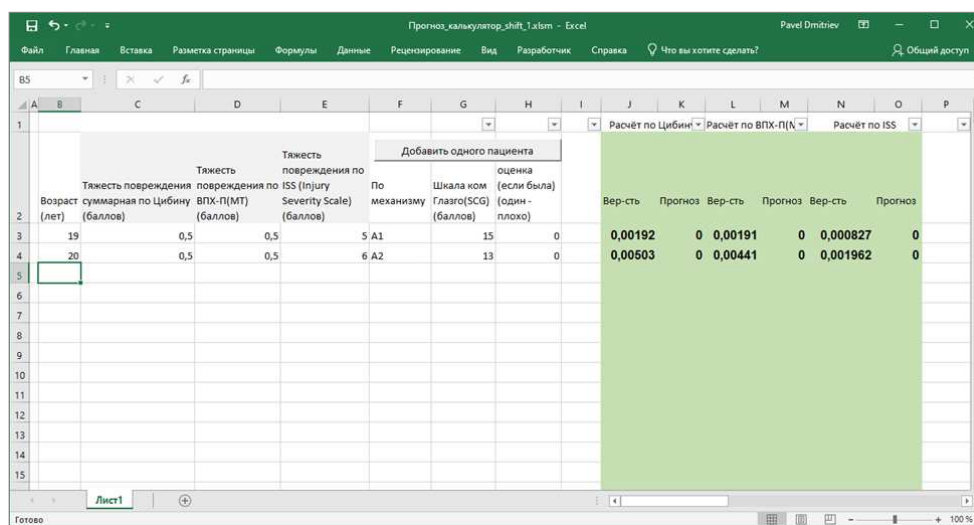


Рис. 1. Вид программной реализации для прогноза в интерфейсе табличного процессора EXCEL

Fig. 1. A type of software implementation for the forecast in the interface of the EXCEL table processor



На вход подаются следующие показатели пациентов (заполняются ячейки в столбцах с соответствующими названиями, правильность заполнения помогают проверить таблицы соответствия, расположенные правее): «возраст» — указывается возраст пациента в годах, диапазон допустимых значений варьируется в интервале от 0 до 150; «механизм повреждения тазового кольца» — выбирается одно из предложенных значений, соответствующих первой строке табл. 1; «шкала комы Глазго (SCG)» — указывается значение соответствующего показателя комы, диапазон допустимых значений варьируется от 2 до 15. Затем указывается хотя бы один из показателей тяжести травмы:

- «тяжесть повреждения суммарная по Цибину» — допустимый интервал от 0 до 19;
- «тяжесть повреждения по ВПХ-П (MT)» — допустимый интервал от 0 до 25;
- «тяжесть повреждения по ISS (Injury Severity Scale)» — допустимый интервал от 0 до 75.

Если есть экспертная оценка летальности или результат, полученный по ретроспективным данным, то можно указать исход: 0 — выжил, 1 — умер. После заполнения указанных выше ячеек автоматически реализуются формулы в заполняемой строке, для каждого указанного типа тяжести травмы вычисляется вероятность летального исхода и прогноз (0/1). Эти результаты должны отобразиться в расчетных ячейках, которые выделены цветом. Если этого не произошло, необходимо скопировать ячейки, в которых корректно отработали формулы, ниже на необходимое число строк. Заметим, что летальный исход (единица) прогнозируется, если рассчитанная вероятность превышает 0.5. В противном случае прогнозируется благоприятствующий исход

(значение ноль). Изменение порогового значения вероятности в сторону увеличения или в сторону уменьшения позволит уменьшить число ложных летальных (единица) или ложных благоприятных (ноль) прогнозов. Для расчета индивидуального прогноза по конкретному пациенту с помощью кнопки на листе «Добавить одного пациента» можно открыть интерфейс (диалоговое окно), представленный на рис. 2, в котором предлагается заполнить поля информацией, описанной выше. После нажатия кнопки «прогноз» производится вычисление и выдаются вероятность исхода и результат прогноза. Данные, появившиеся в расчетных полях формы, вместе с внесенными данными добавляются в конец таблицы. В случае неверного заполнения полей выведется стандартное сообщение об ошибке.

Рис. 2. Интерфейс построения индивидуального прогноза

Fig. 2. Interface for building an individual forecast

Кроме этого, был выполнен второй вариант программной реализации на языке программирования Python, позволяющий сделать отдельные исполняемые файлы как для работы в ОС семейства Windows, так и в ОС семейства Linux, что чрезвычайно важно в условиях перехода на свободное и отечественное программное обеспечение. Приложение для Windows в виде отдельно действующего программного продукта получилось размером около 40 Мб. Все разработанные



формулы для расчета были перенесены в программу «Калькулятор по тяжести травмы таза», реализованную на языке программирования Python. Ввод данных осуществляется через поля «Калькулятора по тяжести травмы таза». Использование программы на языке Python позволило интегрировать рассматриваемый функционал в систему предоперационного планирования SmartPlan Ortho 2D [28], являющуюся частью разрабатываемой системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) [29]. При использовании «Калькулятора по тяжести травмы таза» в рамках СППВР можно воспользоваться сведениями о пациенте, хранящимися в базе данных. Для этого необходимо перед вызовом «Калькулятора по тяжести травмы таза» выбрать нужного пациента в БД, и доступная информация будет автоматически перенесена в соответствующие поля. В «Калькуляторе по тяжести травмы таза» (по сравнению с расчетными формами в EXCEL) дополнительно реализована проверка корректности ввода данных. При наведении указателя на поля ввода отображаются подсказки с диапазонами допустимых значений.

В ходе развития СППВР предполагается организовать механизм автоматического обновления коэффициентов в расчетных формулах Калькулятора. При условии корректного использования и пополнения БД «Медицинская» [30], являющейся частью СППВР, в ней будет постоянно увеличиваться множество кортежей, над которыми строится регрессионная модель, и, соответственно, уточняются коэффициенты. В СППВР содержатся также аналогичные калькуляторы, реализующие другие прогнозы хирургического лечения, которые подставляют имеющиеся данные о пациенте. Логика работы калькуляторов в СППВР такая же, как и при отдельной программной реализации.

Интерфейс программного продукта представлен на рис. 3. В диалоговом окне необходимо заполнить следующую информацию: ФИО пациента, возраст, хотя бы один из вариантов тяжести повреждения, значение шкалы комы Глазго, выбрать механизм повреждения тазового кольца из предложенных вариантов. После нажатия клавиши «Составить прогноз» производится проверка введенных данных и осуществляется расчет заданных вариантов прогноза. Если исходные данные указаны верно, то в области отображения прогноза появится либо обновится прогноз в текстовом виде. Если исходные данные указаны неверно, то поверх окна «Калькулятор по тяжести травмы таза» появится сообщение об ошибке с подсказкой, на какое поле надо обратить внимание.

Программа «Калькулятор по тяжести травмы таза» прошла апробацию у представителей медицинского сообщества (на кафедре военно-полевой хирургии Военно-медицинской академии имени С. М. Кирова, кафедре травматологии и ортопедии ПСПбГМУ им. акад. И. П. Павлова, отде-

Рис. 3. Интерфейс «Калькулятора по тяжести травмы таза»

Fig. 3. Interface of the “Calculator for the severity of pelvic injury”



лах сочетанной травмы и травматологии, ортопедии и вертебрологии СПб НИИ СП им. И. И. Джанелидзе).

В ходе апробации было подтверждено удобство использования программы. Предварительная оценка точности прогнозов также является удовлетворительной. В качестве развития программной реализации возможно уже упомянутое уточнение моделей, добавление новых моделей с другими шкалами. Еще одно направление — это перенос на мобильные устройства в формате либо самостоятельного приложения, либо мобильной версии веб-интерфейса, доступного через личный кабинет в рамках экосистемы СППВР, или иным образом.

Список литературы

1. *Kossovich L. Yu., Kharlamov A. V., Lysunkina Yu. V., Shulga A. E.* Mathematical modeling and prediction of the effectiveness of surgical treatment in surgery of the pelvic complex // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. 2019. Т. 23, № 4. С. 744–755. <https://doi.org/10.14498/vsgtu1702>
2. *Dreizin D., Bodanapally U., Boscak A., Tirada N., Issa G., Nascone J. W., Bivona L., Mascarenhas D., O'Toole R. V., Nixon E., Chen R., Siegel E.* CT prediction model for major arterial injury after blunt pelvic ring disruption // Radiology. 2018. Vol. 287, iss. 3. P. 1061–1069. <https://doi.org/10.1148/radiol.2018170997>
3. *Гуманенко Е. К., Щербук Ю. А., Силюк М. Г., Мадай О. Д., Удадьцова Н. А., Горшков Е. А., Бумай А. О., Афиногенова А. Г., Афиногенов Г. Е., Мадай Д. Ю.* Биометрические аспекты лечения сочетанной травмы // Вестник хирургии имени И. И. Грекова. 2018. Т. 177, № 3. С. 25–30. <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2018-177-3-25-30>
4. *Aksekili M. A. F., Asiltürk M., Akcaalan S., Aksekili H., Alkan H., Demir P.* Radiological evaluation of normal sagittal vertebral, pelvis and global spinopelvic parameters in a young adult Turkish population // Journal of Turkish Spinal Surgery. 2021. Vol. 32, iss. 1. P. 20–25. <https://doi.org/10.4274/jtss.galenos.2021.314>
5. *De Munter L., Polinder S., Lansink K. W. W., Cnossen M. C., Steyerberg E. W., de Jongh M. A. C.* Mortality prediction models in the general trauma population: A systematic review // Injury. 2017. Vol. 48, iss. 2. P. 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2016.12.009>
6. *Pencina M. J., D'Agostino R. B. Sr., Song L.* Quantifying discrimination of Framingham risk functions with different survival C statistics // Statistics in Medicine. 2012. Vol. 10, iss. 31 (15). P. 1543–1553. <https://doi.org/10.1002/sim.4508>
7. *Wolbers M., Blanche P., Koller M. T., Witteman J. C., Gerds T. A.* Concordance for prognostic models with competing risks // Biostatistics. 2014. Vol. 15, iss. 3. P. 526–539. <https://doi.org/10.1093/biostatistics/kxt059>
8. *Jang H. D., Bang C., Lee J. C., Soh J. W., Choi S. W., Cho H. K., Shin B. J.* Corrigendum to 'Risk factor analysis for predicting vertebral body re-collapse after posterior instrumented fusion in thoracolumbar burst fracture' [The Spine Journal 18/2 (2018) 285–293] // The Spine Journal. 2021. Vol. 21, iss. 11. P. 1961–1962. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.07.001>
9. *Berne J. D., Cook A., Rowe S. A., Norwood S. H.* A multivariate logistic regression analysis of risk factors for blunt cerebrovascular injury // Journal of Vascular Surgery. 2010. Vol. 51, iss. 1. P. 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2009.08.071>
10. *Zhang B., Li S., Miao D., Zhao C., Wang L.* Risk factors of cage subsidence in patients with ossification of posterior longitudinal ligament (OPLL) after anterior cervical discectomy and fusion // Medical Science Monitor. 2018. Vol. 24. P. 4753–4759. <https://doi.org/10.12659/MSM.910964>
11. *Овчаренко С. И.* Прогнозирование объема и исхода хирургического вмешательства при



- поясничном остеохондрозе : автореф. дис. . . . канд. мед. наук. Санкт-Петербург, 2007. 21 с. EDN: [NJALUV](#)
12. *Антипко А. Л.* Прогнозирование рецидивов грыж межпозвоночных дисков поясничного отдела позвоночника на основе данных магниторезонансной томографии и математического моделирования : автореф. дис. . . . канд. мед. наук. Воронеж, 2009. 18 с. EDN: [NLAQIV](#)
 13. *Крутько А. В., Байков Е. С.* Прогнозирование результатов хирургического лечения пациентов с грыжами поясничных межпозвоночных дисков (M51.0, M51.2, M51.3, M51.8, M51.9): клинические рекомендации. Новосибирск : ННИИТО, 2016. 13 с. EDN: [YLEDML](#)
 14. *Mofidi R., Duff M. D., Madhavan K. K., Garden O. J., Parks R. W.* Identification of severe acute pancreatitis using an artificial neural network // *Surgery*. 2007. Vol. 141, iss. 1. P. 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2006.07.022>
 15. *Andersson B., Andersson R., Ohlsson M., Nilsson J.* Prediction of severe acute pancreatitis at admission to hospital using artificial neural networks // *Pancreatology*. 2011. Vol. 11, iss. 3. P. 328–335. <https://doi.org/10.1159/000327903>
 16. *Сергеева Н. С., Скачкова Т. Е., Маршуткина Н. В., Ньюшко К. М., Шевчук И. М., Назиров М. Р., Алексеев Б. Я., Пирогов С. А., Юрков Е. Ф., Гитис В. Г., Каприн А. Д.* Валидация пороговых решающих правил и калькулятора для алгоритма ВИЗГ, предназначенного для уточнения стадии рака предстательной железы до начала лечения // *Онкоурология*. 2020. Т. 16, № 1. С. 43–53. <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2020-16-1-43-53>, EDN: [DBYFPV](#)
 17. *Васин А. Б., Малащенко В. Н., Сгонник А. В.* Возможности прогнозирования осложнений при малоинвазивной декомпрессии желчных путей // *Креативная хирургия и онкология*. 2020. Т. 10, вып. 1. P. 28–32. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2020-10-1-28-32>, EDN: [UYPGNC](#)
 18. *Журавлев Ю. И., Назаренко Г. И., Черкашов А. М., Рязанов В. В., Назаренко А. Г.* Прогнозирование исходов хирургического лечения дегенеративной болезни межпозвоночных дисков пояснично-крестцового отдела позвоночника // *Вопросы нейрохирургии им. Н. Н. Бурденко*. 2009. № 1. С. 42–47. EDN: [KCKTIF](#)
 19. *Супильников А. А., Прибытков Д. Л., Старостина А. А.* Оптимальный метод выбора операции при остром восходящем тромбофлебите поверхностных вен нижних конечностей // *Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье*. 2017. № 5 (29). С. 65–68. EDN: [ZVFAJT](#)
 20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019613961 Российская Федерация. Прогнозирование лечения пациентов с облитерирующим атеросклерозом артерий нижних конечностей по результатам компьютерной капилляроскопии : № 2019612630 : заявл. 14.03.2019 : опубл. 26.03.2019 / Д. Л. Прибытков, А. А. Супильников, Ю. Л. Минаев ; заявитель Частное учреждение образовательная организация высшего образования «Медицинский университет «Реавиз». EDN: [ZMLLZQ](#)
 21. *Lee J. B., Kim I. S., Lee J. J., Park J. H., Cho C. B., Yang S. H., Sung J. H., Hong J. T.* Validity of a Smartphone Application (Sagittalmeter Pro) for the Measurement of Sagittal Balance Parameters // *World Neurosurg*. 2019. Vol. 126. P. e8–e15. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.11.242>
 22. *Иванов Д. В., Кириллова И. В., Коссович Л. Ю., Лихачев С. В., Полиенко А. В., Харламов А. В., Шульга А. Е.* Сравнительный анализ мобильного приложения для измерения параметров сагиттального баланса «СпиноМетр» с системой Surgimar: апробация межэкспертной надежности // *Гений ортопедии*. 2021. Т. 27. № 1. С. 74–79. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2021-27-1-74-79>, EDN: [MXWDWV](#)
 23. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019665169 Российская Федерация. Мобильное приложение для измерения и расчета параметров сагиттального баланса позвоночно-тазового комплекса «СпиноМетр» : № 2019664415 :



- заявл. 13.11.2019 : опубл. 20.11.2019 / А. С. Бескровный, Л. В. Бессонов, А. В. Доль [и др.] ; заявитель Российская Федерация, от имени которой выступает ФОНД ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. EDN: [CMSXOY](#)
24. Burgess A. R., Eastridge B. J., Young J. W., Ellison T. S., Ellison P. S. Jr, Poka A., Bathon G. H., Brumback R. J. Pelvic ring disruptions: effective classification system and treatment protocols // *The Journal of Trauma*. 1990. Vol. 30, iss. 7. P. 848–856. <https://doi.org/10.1097/00005373-199007000-00015>
 25. Мюллер М. Е., Альговер М., Шнайдер Р., Виллинеггер Х. Руководство по внутреннему остеосинтезу: Методика, рекомендованная группой АО (Швейцария) / пер. А. В. Королев. 3-е изд. расшир. и полностью перераб. Москва : Ad Marginem, 1996. 750 с.
 26. Meinberg E. G., Agel J., Roberts C. S., Karam M. D., Kellam J. F. Fracture and dislocation classification Compendium-2018 // *Journal of Orthopaedic Trauma*. 2018. Vol. 32. P. S1–S170. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001063>
 27. Касимов Р. Р., Махновский А. И., Логинов В. И., Тутаев О. И., Неганов И. М., Сморгалов А. Ю., Кукоз Г. В., Елфимов Д. А. Объективная оценка тяжести травмы в войсковом звене, гарнизонных и базовых военных госпиталях (методические рекомендации). Нижний Новгород : ООО«Стимул-СТ», 2017. 133 с. EDN: [ZFLIX](#)
 28. Система предоперационного планирования SmartPlan Ortho 2D // Запись № 10490 от 06.05.2021 в Едином реестре российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных. https://reestr.digital.gov.ru/reestr/339480/?sphrase_id=465723
 29. Бескровный А. С., Бессонов Л. В., Голядкина А. А., Доль А. В., Иванов Д. В., Кириллова И. В., Коссович Л. Ю., Сидоренко Д. А. Разработка системы поддержки принятия врачебных решений в травматологии и ортопедии. Биомеханика как инструмент предоперационного планирования // *Российский журнал биомеханики*. 2021. Т. 25, № 2. С. 118–133. <https://doi.org/10.15593/RZhBiomeh/2021.2.01>, EDN: [IEGONC](#)
 30. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020622181 Российская Федерация. База данных «Медицинская» для прототипа Системы поддержки принятия врачебных решений, режим персональной виртуальной операционной : № 2020621719 : заявл. 01.10.2020 : опубл. 06.11.2020 / Л. Ю. Коссович, И. В. Кириллова, А. С. Фалькович [и др.] ; заявитель Российская Федерация, от имени которой выступает ФОНД ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. EDN: [QOKAVZ](#)

References

1. Kossovich L. Yu., Kharlamov A. V., Lysunkina Yu. V., Shulga A. E. Mathematical modeling and prediction of the effectiveness of surgical treatment in surgery of the pelvic complex. *Journal of Samara State Technical University, Ser. Physical and Mathematical Sciences*, 2019, vol. 23, iss. 4, pp. 744–755. <https://doi.org/10.14498/vsgtu1702>
2. Dreizin D., Bodanapally U., Boscak A., Tirada N., Issa G., Nascone J. W., Bivona L., Mascarenhas D., O'Toole R. V., Nixon E., Chen R., Siegel E. CT prediction model for major arterial injury after blunt pelvic ring disruption. *Radiology*, 2018, vol. 287, iss. 3, pp. 1061–1069. <https://doi.org/10.1148/radiol.2018170997>
3. Gumanenko E. K., Scherbuk Yu. A., Silyuk M. G., Golovko K. P., Maday O. D., Udaltsova N. A., Gorshkov E. A., Bumay A. O., Afinogenova A. G., Afinogenov G. E., Maday D. Yu. Biometric aspects in treatment of combined trauma. *Grekov's Bulletin of Surgery*, 2018, vol. 177, iss. 3, pp. 25–30 (in Russian). <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2018-177-3-25-30>
4. Aksekili M. A. F., Asiltürk M., Akcaalan S., Aksekili H., Alkan H., Demir P. Radiological evaluation of normal sagittal vertebral, pelvis and global spinopelvic parameters in a young adult Turkish population. *Journal of Turkish Spinal Surgery*, 2021, vol. 32, iss. 1, pp. 20–25. <https://doi.org/10.4274/jtss.galenos.2021.314>
5. De Munter L., Polinder S., Lansink K. W. W., Cnossen M. C., Steyerberg E. W., de Jongh M. A. C. Mortality prediction models in the general trauma population: A



- systematic review. *Injury*, 2017, vol. 48, iss. 2, pp. 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2016.12.009>
6. Pencina M. J., D'Agostino R. B. Sr., Song L. Quantifying discrimination of Framingham risk functions with different survival C statistics. *Statistics in Medicine*, 2012, vol. 10, iss. 31 (15), pp. 1543–1553. <https://doi.org/10.1002/sim.4508>
 7. Wolbers M., Blanche P., Koller M. T., Witteman J. C., Gerds T. A. Concordance for prognostic models with competing risks. *Biostatistics*, 2014, vol. 15, iss. 3, pp. 526–539. <https://doi.org/10.1093/biostatistics/kxt059>
 8. Jang H. D., Bang C., Lee J. C., Soh J. W., Choi S. W., Cho H. K., Shin B. J. Corrigendum to 'Risk factor analysis for predicting vertebral body re-collapse after posterior instrumented fusion in thoracolumbar burst fracture' [The Spine Journal 18/2 (2018) 285–293]. *The Spine Journal*, 2021, vol. 21, iss. 11, pp. 1961–1962. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.07.001>
 9. Berne J. D., Cook A., Rowe S. A., Norwood S. H. A multivariate logistic regression analysis of risk factors for blunt cerebrovascular injury. *Journal of Vascular Surgery*, 2010, vol. 51, iss. 1, pp. 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2009.08.071>
 10. Zhang B., Li S., Miao D., Zhao C., Wang L. Risk factors of cage subsidence in patients with ossification of posterior longitudinal ligament (OPLL) after anterior cervical discectomy and fusion. *Medical Science Monitor*, 2018, vol. 24, pp. 4753–4759. <https://doi.org/10.12659/MSM.910964>
 11. Ovcharenko S. I. *Prediction of the Volume and Outcome of Surgical Intervention in Lumbar Osteochondrosis*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Med.). St. Petersburg, 2007. 21 p. (in Russian). EDN: [NJALUV](#)
 12. Antipko A. L. *Prediction of Recurrences of Herniated Discs of the Lumbar Spine on the Basis of Magnetic Resonance Imaging and Mathematical Modeling*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Med.). Voronezh, 2009. 18 p. (in Russian). EDN: [NLAQIV](#)
 13. Krutko A. V., Baykov E. S. *Prognozirovanie rezul'tatov khirurgicheskogo lecheniya patsientov s gryzhami poiasnichnykh mezhpozvonochnykh diskov (M51.0, M51.2, M51.3, M51.8, M51.9): klinicheskie rekomendatsii* [Prediction of the Results of Surgical Treatment of Patients with Herniated Lumbar Intervertebral Discs (M51.0, M51.2, M51.3, M51.8, M51.9): Clinical Guidelines]. Novosibirsk, NNIITO, 2016. 13 p. (in Russian). EDN: [YLEDML](#)
 14. Mofidi R., Duff M. D., Madhavan K. K., Garden O. J., Parks R. W. Identification of severe acute pancreatitis using an artificial neural network. *Surgery*, 2007, vol. 141, iss. 1, pp. 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2006.07.022>
 15. Andersson B., Andersson R., Ohlsson M., Nilsson J. Prediction of severe acute pancreatitis at admission to hospital using artificial neural networks. *Pancreatology*, 2011, vol. 11, iss. 3, pp. 328–335. <https://doi.org/10.1159/000327903>
 16. Sergeeva N. S., Skachkova T. E., Marshutina N. V., Nyushko K. M., Shevchuk I. M., Nazirov M. R., Alekseev B. Ya., Pirogov S. A., Yurkov E. F., Gitis V. G., Kaprin A. D. The validation of threshold decision rules and calculator for APhiG algorithm for clarification of prostate cancer staging before treatment. *Cancer Urology*, 2020, vol. 16, iss. 1, pp. 43–53 (in Russian). <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2020-16-1-43-53>, EDN: [DBYFPV](#)
 17. Vasin A. B., Malashenko V. N., Sgonnik A. V. Predicting complications during minimally invasive biliary tract decompression. *Creative Surgery and Oncology*, 2020, vol. 10, iss. 1, pp. 28–32 (in Russian). <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2020-10-1-28-32>, EDN: [UYPGNC](#)
 18. Zhuravlev Yu. I., Nazarenko G. I., Cherkashov A. M., Ryazanov V. V., Nazarenko A. G. Predicting of outcomes of surgical treatment of degenerative lumbar disk disease. *Burdenko's Journal of Neurosurgery*, 2009, no. 1, pp. 42–47 (in Russian). EDN: [KCKTIF](#)
 19. Supilnikov A. A., Pribytkov D. L., Starostina A. A. Optimal surgical method for the treatment of patients with acute ascending thrombophlebitis of superficial veins of the lower



- extremities. *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ" (REHABILITATION, DOCTOR AND HEALTH)*, 2017, no. 5 (29), pp. 65–68 (in Russian). EDN: [ZVFAJT](#)
20. Pribytkov D. L., Supilnikov A. A., Minaev Yu. L. Prognosis of treatment of patients with obliterating atherosclerosis of the arteries of the lower extremities based on the results of computer capillaroscopy: No. 2019612630. Certificate of state registration of the computer program No. 2019613961 Russian Federation. EDN: [ZMLLZQ](#)
21. Lee J. B., Kim I. S., Lee J. J., Park J. H., Cho C. B., Yang S. H., Sung J. H., Hong J. T. Validity of a Smartphone Application (Sagittalmeter Pro) for the Measurement of Sagittal Balance Parameters. *World Neurosurg*, 2019, vol. 126, pp. e8–e15. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.11.242>
22. Ivanov D. V., Kirillova I. V., Kossovich L. Yu., Likhachev S. V., Polienko A. V., Kharlamov A. V., Shulga A. E. Comparative analysis of the SpinoMeter mobile application and Surgimap. *Genij Ortopedii*, 2021, vol. 27, no. 1, pp. 74–79 (in Russian). <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2021-27-1-74-79>, EDN: [MXWDWV](#)
23. Bloodless A. S., Bessonov L. V., Dol A. V. [et al.]. *Mobile application for measuring and calculating the parameters of the sagittal balance of the vertebral-pelvic complex "SpinoMetr"*: No. 2019664415. Certificate of state registration of the computer program No. 2019665169 Russian Federation. EDN: [CMSXOY](#)
24. Burgess A. R., Eastridge B. J., Young J. W., Ellison T. S., Ellison P. S. Jr., Poka A., Bathon G. H., Brumback R. J. Pelvic ring disruptions: effective classification system and treatment protocols. *The Journal of Trauma*, 1990, vol. 30, iss. 7, pp. 848–856. <https://doi.org/10.1097/00005373-199007000-00015>
25. Muller M. E., Allgover M., Schneider R., Willinegger H. *Rukovodstvo po vnutrennemu osteosintezu: Metodika, rekomendovannaia gruppy AO (Shveytsariya)* [Manual of Internal Osteosynthesis: Methodology Recommendation JSC Group (Switzerland): Transl. A. V. Korolev]. 3rd ed. expanded. and completely reworked. Moscow, Ad Marginem, 1996. 750 p. (in Russian).
26. Meinberg E. G., Agel J., Roberts C. S., Karam M. D., Kellam J. F. Fracture and dislocation classification Compendium-2018. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 2018, vol. 32, pp. S1–S170. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001063>
27. Kasimov R. R., Makhnovsky A. I., Loginov V. I., Tutaev O. I., Neganov I. M., Smorkalov A. Yu., Kukoz G. V., Elfimov D. A. *Ob"ektivnaia otsenka tiazhesti travmy v voiskovom zvene, garnizonnykh i bazovykh voennykh gosptialiakh (metodicheskie rekomendatsii)* [Objective Assessment of the Severity of Injury in the Military Unit, Garrison and Base Military Hospitals (Methodological Recommendations)]. Nizhny Novgorod, LLC "Stimul-ST", 2017. 133 p. (in Russian). EDN: [ZFLLIX](#)
28. *SmartPlan Ortho2D preoperative planning system*. Entry No. 10490 dated 06.05.2021 in the Unified Register of Russian Programs for Electronic Computers and Databases. https://reestr.digital.gov.ru/reestr/339480/?sphrase_id=465723
29. Beskrovny A. S., Bessonov L. V., Golyadkina A. A., Dol A. V., Ivanov D. V., Kirillova I. V., Kossovich L. Yu., Sidorenko D. A. Development of a decision support system in traumatology and orthopedics. Biomechanics as a tool for preoperative planning. *Russian Journal of Biomechanics*, 2021, vol. 25, iss. 2, pp. 118–133 (in Russian). <https://doi.org/10.15593/RZhBiomeh/2021.2.01>, EDN: [IEGOHC](#)
30. Kossovich L. Yu., Kirillova I. V., Falkovich A. S. [et al.] *Database "Medical" for a prototype of a medical decision support system, personal virtual operating room mode*: No. 2020621719. Certificate of state registration of the database No. 2020622181 Russian Federation. EDN: [QOKAVZ](#)

Поступила в редакцию / Received 17.10.2021
Принята к публикации / Accepted 10.02.2022
Опубликована / Published 31.08.2022