

DOI: <https://doi.org/10.17816/ps856>

EDN: IGZGOM

# Предиктивная модель прогноза эстетичности послеоперационного рубца в детской хирургии: оригинальное исследование

Д.С. Савельев, С.Ю. Городков, И.В. Горемыкин

Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского, Саратов, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Послеоперационный рубец — видимый и неизбежный исход хирургического лечения. Наличие рубца на теле ребёнка наряду с физическими неудобствами (боль, зуд, шелушение) способно привести к снижению уровня качества жизни в целом, что проявляется дисгармонией в психологической и возрастной адаптации, чувством неудовлетворённости собственным телом.

Результатом нашей работы был ответ на исследовательский вопрос, возможно ли до операции прогнозировать эстетичность послеоперационного рубца у ребёнка с учётом заранее известных предикторов.

**Цель исследования** — создать предиктивную модель прогноза эстетичности послеоперационного рубца в детской хирургии с применением методов машинного обучения.

**Методы.** В исследовании приняли участие 219 детей, которые имели послеоперационный рубец на своём теле. Период проведения работы — 2022–2024 годы. В качестве алгоритма прогнозирования был выбран метод деревьев решений (decision tree) в программе SPSS Statistic 23. Построение моделей проводили по методам CHAID и его модификации (Исчерпывающий CHAID), а также CRT. В качестве искомого критерия прогноза опирались на итоговый балл листа опросника для ребёнка шкалы SPASS. Предикторами выступали следующие параметры: возраст ребёнка, локализация рубца, длина рубца, цветовой градиент. Цветовой градиент определяли в цифровом графическом редакторе Photoshop CS6 на основе фотоснимков в системе цветowych координат RGB.

**Результаты.** Построена работоспособная предиктивная прогностическая модель по методу CHAID. Модель включала в себя 32 узла, 25 из которых были терминальными. При построении ROC-кривой, параметр AUC составил 0,924. Асимптотический доверительный интервал (95%) находился в пределах 0,890–0,922. Значение проведённой кросс-валидации было приемлемым. Прогнозное моделирование проведено на основе девяти терминальных узлов с высокими значениями параметров «индекс» и «отклик». Эстетическое восприятие послеоперационного рубца не зависит от возраста ребёнка, локализации рубца и его цвета, при этом наиболее значимо влияет его длина.

**Заключение.** В нашем исследовании разработана предиктивная прогностическая модель эстетичности послеоперационного рубца в детской хирургии на основе деревьев решений. Это первая попытка прогнозирования параметров подобного рода в педиатрической практике. Результаты исследования будут полезны для применения на практике в детской хирургии при планировании оперативных вмешательств.

**Ключевые слова:** послеоперационный рубец; машинное обучение; прогнозное моделирование; предиктивная модель; детская хирургия.

## Как цитировать:

Савельев Д.С., Городков С.Ю., Горемыкин И.В. Предиктивная модель прогноза эстетичности послеоперационного рубца в детской хирургии: оригинальное исследование // Детская хирургия. 2025. Т. 29, № 4. С. In Press. DOI: 10.17816/ps856 EDN: IGZGOM

DOI: <https://doi.org/10.17816/ps856>

EDN: IGZGOM

# A Model for Predicting the Aesthetics of Postoperative Scar in Pediatric Surgery: an Original Study

Dmitrii S. Savelev, Sergey Yu. Gorodkov, Igor V. Goremykin

Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** A postoperative scar is a visible and inevitable result of surgical intervention. A scar on the child's body can worsen the quality of his/her life as it can be manifested with physical ailment (pain, itching, skin flaking), disharmony in psychological and age adaptation as well as with the feeling of dissatisfaction with one's own body. The basic question which we had been put before our research was: "Is it possible to predict the aesthetic result of postoperative scars in children before surgery, taking into account previously known predictors?"

**AIM:** To create a prognostic model for predicting aesthetic outcomes in postoperative scars in pediatric surgery using machine learning modalities.

**METHODS:** 219 children with postoperative scars on their body were enrolled in the study in 2022–2024. The decision tree modality in the SPSS Statistic 23 program was chosen as a forecasting algorithm. Models were built using CHAID, Exhaustive CHAID and CRT. The desired prognosis criterion was based on the final score in the SPASS scale questionnaire sheet. Predictors were: child's age, scar location, scar length, and color gradient. The color gradient was determined in Photoshop CS6 digital graphics editor based on photographs in RGB color coordinate system.

**RESULTS:** A workable predictive model using CHAID modality has been built. The model included 32 nodes, 25 of which were terminal nodes. AUC parameter in the ROC curve was 0.924. Asymptotic confidential interval (95%) was in the range of 0.890–0.922. The value of performed "cross-validation" was acceptable. Predictive modeling was done using nine terminal nodes with high values of "index" and "response" parameters. The aesthetic perception of postoperative scar does not depend on child's age, scar color and location, but it is largely influenced by the scar length.

**CONCLUSION:** In this trial, a predictive model of postoperative scar aesthetics in pediatric surgery based on the decision tree modality has been developed. This is the first attempt to predict outcomes of this kind in pediatric surgery. The obtained results will be useful for practical application in pediatric surgery when planning surgical interventions.

**Keywords:** postoperative scar; machine learning; predictive modeling; predictive model; pediatric surgery.

## To cite this article:

Savelev DS, Gorodkov SY, Goremykin IV. A Model for Predicting the Aesthetics of Postoperative Scar in Pediatric Surgery: an Original Study. *Russian Journal of Pediatric Surgery*. 2025;29(4):In Press. DOI: 10.17816/ps856 EDN: IGZGOM

## Термины и определения

**Деревья решений** (decision tree) — метод машинного обучения и работы с данными, рекурсивная структура сегментации с последующей визуализацией. Важной функцией данного метода является прогнозирование целевых исходов на основе набора заранее известных критериев (предикторов).

**Модель CHAID** (Chi-Squared Automatic Interaction Detection; автоматический обнаружитель взаимодействий) — метод «деревьев решений», выстраивает прогноз на основе скорректированных повторяющихся тестов значимости ( $\chi^2$ ).

**Модель исчерпывающий CHAID** (Exhaustive CHAID) — метод «деревьев решений», модификация метода CHAID, выстраивает прогноз на основе максимально возможного количества статистически значимых расщеплений для каждого из предикторов.

**Модель CRT** (Classification and Regression Trees; деревья классификации и регрессии) — метод «деревьев решений», прогнозирование основано на максимально возможном уменьшении

неоднородности данных в анализируемом узле при построении, а сегментация данных основана на максимально возможных различиях.

**Subjective Pediatric Assessment Scar Scale, SPASS** — визуально ассоциативная педиатрическая шкала субъективной оценки послеоперационного рубца.

**RGB system** — аддитивная цветовая модель, которая описывает способ кодирования цвета для цветовоспроизведения на основе трёх цветов (красный, зелёный, синий).

**Photoshop CS6** — цветовой графический редактор для анализа фотографических данных.

**ROC-кривая** (receiver operating characteristic) — график для оценки качества бинарной классификации при построении прогноза.

**AUC (Area Under the Curve)** — площадь под ROC кривой, количественная мера, которая позволяет оценить качество работоспособности модели и достоверность прогноза.

## ОБОСНОВАНИЕ

На сегодняшний день всё более очевидным в детской хирургии становится тот факт, что успех оперативного вмешательства определяется уровнем качества жизни пациента. Кожный рубец — видимый и неизбежный исход хирургического лечения [1]. Согласно многочисленным исследованиям, кожный рубец является одним из составляющих удовлетворённости перенесённым хирургическим вмешательством вне зависимости от возраста пациента [2–4].

Наличие рубца на теле ребёнка может привести к снижению уровня качества жизни. Это может проявиться дисгармонией в психологической и возрастной адаптации, чувством неудовлетворённости собственным телом, явлениями буллинга в коллективе [5]. Помимо этого, в зависимости от своих объективных параметров, включая значимое отличие по цветовым характеристикам от неизменённой кожи [6], рубец может приносить физические неудобства носителю в виде боли, зуда, шелушения и т.д.

Проблеме комплексной оценки характеристик рубца на данном этапе развития науки посвящено большое количество исследований, разработано по меньшей мере десять оценочных шкал [7]. Все инструменты оценки имеют как достоинства, так и недостатки, но объединены одной целью — узнать, насколько рубец влияет на жизнь пациента, насколько важна проблема наличия кожных изменений для носителя. В нашем исследовании, посвящённом проблеме послеоперационного кожного рубца в детской хирургии, основным вопросом была возможность

дооперационного прогнозирования эстетичности послеоперационного рубца с учётом заранее известных предикторов. В имеющейся на сегодняшний день литературе, электронных базах данных мы не нашли исследований, посвящённых прогнозируемому моделированию послеоперационного рубца в детской практике.

**Цель исследования** — создать предиктивную модель прогноза эстетичности послеоперационного рубца в детской хирургии с применением методов машинного обучения.

## МЕТОДЫ

### Дизайн исследования

Обсервационное одноцентровое выборочное ретроспективное.

### Критерии соответствия

**Критерии включения:** возраст ребёнка от 7 до 17 лет включительно; наличие кожного послеоперационного рубца; время от момента перенесённого оперативного вмешательства более года.

**Критерии невключения:** возраст ребёнка менее 7 лет; отсутствие письменного согласия законного представителя на участие в исследовании; подтверждённые документально значимые интеллектуальные нарушения в когнитивном статусе ребёнка; срок от момента перенесённого оперативного вмешательства менее года.

## Условия проведения

Исследование выполнено на базе кафедры хирургии детского возраста ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского» Минздрава России (СГМУ им. В.И. Разумовского) детского хирургического отделения Университетской клинической больницы № 1 имени С.П. Миротворцева (Саратов).

## Продолжительность исследования

Исследование проведено в период 2022–2024 годов.

## Описание исследования

Ни одному пациенту, включённому в исследование, в послеоперационном периоде местная терапия или физиотерапия для профилактики рубцеобразования не проводилась.

Понятие «эстетичность» субъективно — оно многогранно, и, на наш взгляд, не ограничивается лишь пропорциональными размерами и «идеальными» объективными характеристиками кожного рубца. Эстетичность напрямую связана с субъективными характеристиками и переживаниями ребёнка, на теле которого находится кожный рубец. Неслучайно слово «эстетика» происходит от греческого «чувство, чувствующий» [8]. Созданная нами педиатрическая шкала оценки эстетичности послеоперационного рубца в детской хирургии (Subjective Pediatric Assessment Scar Scale, SPASS) [9] являлась первым клиническим опытом подобной оценки в детской практике. Данный инструмент был разработан многопрофильной командой с привлечением педагогов и детских психологов. Шкала и вопросы SPASS были разделены в строгом соответствии с возрастной психологической периодизацией Л.С. Выготского, а вопросы, несмотря на различную синтаксическую конструкцию, объединены семантически. Итоговый балл шкалы содержал комплексную информацию о проблемах социального плана, физических неудобствах, вызванных наличием рубца, проблемах самовосприятия и возможного лечения. Сочетание данных характеристик, на наш взгляд, формировало понятие «эстетичность послеоперационного рубца». Данная факторная структура неслучайна: она подтверждена проведённой на этапе разработки процедурой эксплораторного факторного анализа на основе опроса детей в фокус-группах.

## Исходы исследования

Таким образом, в качестве прогнозируемой переменной исхода мы использовали итоговый балл листа-опросника для ребёнка по шкале SPASS. Прогнозировали бинарный исход: 7 баллов и ниже — «неудовлетворительный эстетический результат», 8 баллов и выше — «превосходный эстетический результат». Целевым исходом при прогнозировании считали неудовлетворительный эстетический результат.

Мы эмпирически считали, что наибольший вклад в вариабельность понятия «эстетичность» вносят следующие характеристики: длина кожного рубца, локализация кожного рубца, возраст ребёнка, цветовой градиент относительно неизменённой кожи. Выбор данных предикторов был основан в том числе на ранее проведённых исследованиях при разработке инструментов оценки зарубцовываемости хирургами, дерматологами, комбустиологами. Специалисты высказывали предположения о важности этих объективных характеристик. В настоящее время используется понятие «качество рубца», включающее в себя визуальные, тактильные и субъективные («ощущаемые», сенсорные) характеристики [10]. На наш взгляд, понятие «качество» идентично, по сути, понятию «эстетичность». Качество рубца, как и эстетичность, вбирает в себя первые два домена здоровья, как приоритетного фактора для качества жизни, согласно общепринятой концептуальной модели I.B. Wilson и P.D. Cleary [11]. Это биологические или физические переменные (объективные характеристики) и статус симптома (субъективные характеристики) [12]. В нашем исследовании физическими переменными были измеряемые величины — предикторы. Шкала SPASS позволила измерить субъективные параметры. Эти параметры были связаны только с рубцовой тканью и возникали сугубо из-за её наличия (например зуд или шелушение). Тем самым традиционный вектор регистрационно-описательных исследований был перемещён на выявление причинно-следственной связи между сенсорным восприятием (эстетические параметры) и измеряемыми характеристиками (физические параметры).

Три предиктора имели порядковый характер: длина кожного рубца, возраст ребёнка, цветовой градиент. Локализация рубца являлась номинальным предиктором. Для нормализации выборки относительно предиктора мы условно выделили три топографические зоны рубцов. Первая зона — голова, включая лицо и волосистую часть головы; вторая зона — туловище (живот, спина), третья зона — конечности. При статистическом анализе данных выделенные зоны были закодированы значениями «1», «2» и «3».

Длину рубца измеряли во время осмотра ребёнка при помощи линейки (шаг деления 0,1 см) и фиксировали в сантиметрах с округлением до миллиметра. Возраст, измеряемый в годах, был зафиксирован в листе-опроснике.

С целью определения цветового градиента рубцовой ткани мы использовали фотофиксацию кожного рубца с соблюдением заранее заданных условий при помощи цифровой камеры мобильного устройства (iPhone 7, камера 12 Мп, диафрагма  $f/1.8$ , оптическая стабилизация изображения, контроль экспозиции) с расстояния 30 см и углом к объекту съёмки в  $45^\circ$  с последующей оценкой в цифровом графическом редакторе Photoshop CS6. Ранее мы показали, что при таком расположении камеры и объекта относительные величины цветовых координат в системе RGB постоянны и не зависят от условий внешней среды,

что позволяло избегать явлений метамеризма (оптический эффект, при котором два различных по спектру цветовых образца имеют один и тот же цвет при определённом источнике света) [13]. Координаты для анализа цвета были представлены в системе RGB и оценены при помощи инструмента «цветовой эталон» по следующему алгоритму. Три «точки» (пиксельный забор 3×3) выбирали на равноудалённом расстоянии друг от друга в пределах исследуемого рубца, затем проводили параллельные прямые, проходящие через зону забора цветовых координат, и повторяли процедуру оценки на расстоянии 3 см на участке неизменённой кожи (рис. 1). Такой алгоритм был продиктован желанием уменьшить статистическую погрешность измерений. Таким образом, для оценки цветового градиента одного рубца анализировали 18 цветовых координат ( $R=6$ ,  $G=6$ ,  $B=6$ ). Путём суммирования полученных значений определяли общую цветовую яркость рубца и неизменённой кожи, затем вычисляли градиент цвета при помощи стандартных процедур в программе Microsoft Excel 2019. Результат отражал отличие в цветовосприятии рубца от неизменённой кожи в процентах.

В качестве алгоритма прогнозирования был выбран метод деревьев решений (decision tree) в программе SPSS Statistic 23. Деревья решений являются методом изучения статистически значимой взаимосвязи между одной зависимой (исход) и несколькими независимыми переменными (предикторы). Основным отличием этого метода от логистической регрессии и других методов прогнозирования является представление данных в виде иерархичной древовидной структуры, которая строится после выделения связей и сегментации данных [14]. Этот метод способен выявить нелинейные связи, которые нельзя обнаружить, применяя стандартные статистические тесты. Деревья решений устойчивы к выбросам данных, поскольку основаны на определении диапазонов значений внутри выборки. На сегодняшний день выделяют четыре основных модели деревьев решений: модель CHAID (Chi-Square Automatic Interaction Detector) — автоматический обнаружитель взаимодействий; модель Исчерпывающий CHAID; модель CRT (Classification and Regression Tree), модель QUEST (Quick, Unbiased Efficient Statistical Tree) — быстрое несмещённое статистическое дерево. В качестве алгоритмов машинного обучения и применения к выборке мы предпочли модели CHAID, Исчерпывающий CHAID, а также CRT. Прогнозирование по методу QUEST не проводилось, так как наиболее достоверные результаты данный метод показывает на выборке 1000 случаев и более [15].

Таким образом, прогнозируемым исходом в проведённом исследовании являлся совокупный балл по листу-опроснику для ребёнка шкалы оценки эстетичности послеоперационного рубца в детской хирургии (SPASS). Предикторами выступили возраст ребёнка, длина кожного рубца, локализация кожного рубца, цветовой градиент относительно неизменённой кожи. Методом прогнозирования был выбран метод деревьев решений.



**Рис. 1.** Метод анализа цветового градиента кожного рубца в графическом редакторе.

**Fig. 1.** A method for the analysis of color gradient of a skin scar in Photoshop.

### Статистический анализ

Статистический анализ данных осуществляли при помощи программ Microsoft Office Excel 2019, IBM SPSS Statistic 23 (Chicago, IL).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Объекты (участники) исследования

В проведённом исследовании приняло участие 219 детей, которые полностью удовлетворяли обозначенным критериям включения. Согласно формуле расчёта числа исходов (событий) на основе количества предикторов (Events Per Predictor, EPP), количества исходов достаточно для проведения расчётов [16]. Для определения статистической мощности исследования с бинарным исходом воспользовались правилом F. Harrell: 10–20 EPV (Events per variable) [17]. В нашем исследовании на один предиктор выпадало 17 наблюдений, что подтвердило предположение о репрезентативности выборки. Сводная характеристика выборки представлена в табл. 1.

### Основные результаты исследования

Изучаемые данные были сбалансированы по частоте интересующего явления. Частота неудовлетворительного эстетического результата в послеоперационном периоде составила 30,1%.

Далее последовательно построили диаграммы деревьев решений в вышеописанных моделях.

**Метод CHAID.** При построении дерева решений по методу CHAID для повышения репрезентативности выборки мы провели прогнозное моделирование с изменёнными критериями. Минимальное возможное количество наблюдений в родительском и дочернем узле было установлено 8 и 4. В качестве критерия статистической значимости

Таблица 1. Общая характеристика выборки

Table 1. General characteristics of the sample

Характеристика / Characteristic	Значение / Value	Превосходный эстетический результат (1) / Excellent aesthetic result (1)	Неудовлетворительный эстетический результат (0) / Poor aesthetic result (0)
Число наблюдений / Number of observations	219	153	66
Возраст ребёнка, лет / Child's age/ years	7–17	Me 12 [min 7; max 17]	Me 12 [min 7; max 17]
Длина рубца, см / Scar length	0,90–29,22	0,90–22,0; SD 3,39	1,12–29,22; SD 5,44
Локализация / Location	Голова, туловище, конечности / Head, Torso, Limbs		
Цветовой градиент, % / Color gradient	0,14–53,16	0,14–49,43; SD 9,26	1,20–53,16; SD 12,04

предпочтён  $\chi^2$  отношения правдоподобия. Уровень значимости для разбиения узлов составил 0,05 ( $p=0,05$ ). Для объединения узлов выбран аналогичный порог вероятности. Максимальное количество итераций установлено на отметке 1000. Минимальное изменение в ожидаемых частотах и ячейках — 0,001. Установлена отметка о необходимости корректировки полученного результата при помощи поправки Бонферрони. После построения диаграммы дерева получена прогностическая модель с глубиной дерева в три уровня. В модель включены следующие зависимые переменные: длина рубца, возраст ребёнка, цветовой градиент относительно неизменённой кожи. Отметим, что переменная «локализация» не участвовала в построении модели, так как иерархические связи были незначимыми. Модель включала в себя 32 узла, 25 из которых являлись терминальными, т.е. такими, после которых дерево останавливало рост. Наилучшим участвовавшим в построении модели и внёсшим наибольший статистический вклад выступил предиктор «длина рубца», с помощью которого генеральная выборка была разделена на семь подгрупп, три из которых имели дальнейшее продолжение. Оценка риска модели составила 0,146, а стандартная ошибка вычислений — 0,24. Иными словами, вероятность неверно предсказанного исхода целевой переменной составила 14,6%. Далее была оценена таблица классификаций полученных результатов (табл. 2). При анализе данных работоспособность модели выглядела оптимистично, поскольку общая правильность классификации составляла 85,4%. Общая процентная доля в предиктивном построении также была близка к идентичному показателю в исходной выборке — 30,1% и 33,8% соответственно.

**Метод «Исчерпывающий CHAID».** При построении дерева решений по методу «Исчерпывающий CHAID» были применены статистические критерии, идентичные вышеописанной модели в связи со схожестью алгоритмов расчёта. Мы получили структуру, включающую в себя 34 узла, 25 из которых являлись терминальными. В построении диаграммы приняли участие три предиктора: длина рубца, возраст ребёнка, локализация рубца. Предиктор «цветовой градиент» был проигнорирован и признан статистически незначимым. Оценка риска модели составила 0,215 при величине среднеквадратичной ошибки 0,28. Таким образом, вероятность неверно предсказанного исхода составила 21,5%. В качестве критерия возможной работоспособности мы оценили таблицу классификаций полученных значений (табл. 3).

Общая правильность классификации, несмотря на увеличение количества родительских узлов, оказалась ниже и составила 78,5%. Предсказанное значение целевой переменной также отличалось в худшую сторону от метода CHAID, однако было ближе к искомому исходу в генеральной совокупности.

**Метод CRT.** При построении дерева решений по методу CRT уровень минимального изменения неоднородности установлен по умолчанию в 0,001. Установлен критерий отсечения ветвей для избегания переобучения модели. Количество минимально возможного числа наблюдений в родительском и дочернем узле установлено на отметках 6 и 3. Многие исследователи рекомендуют выбирать наименьшее значение данных параметров, ввиду того что алгоритм самостоятельно улучшает модель, используя суррогаты валидных значений. Мы получили диаграмму, которая включала в себя 29 узлов, 15 из которых являлись терминальными.

Таблица 2. Таблица классификаций модели CHAID

Table 2. CHAID (Chi-Squared Automatic Interaction Detection) model classification table

Исход / Outcome	Предсказанные значения / Predicted values		
	0 (целевая переменная / target variable)	1 (переменная значений / value variable)	Вероятность верного прогноза / Probability of correct prediction
0 (целевая переменная / target variable)	54	12	81,8
1 (переменная значений / value variable)	20	133	86,9
Общая процентная доля / Total percentage	33,8	66,2	85,4

**Таблица 3.** Таблица классификаций модели «Исчерпывающий CHAID»**Table 3.** Exhaustive CHAID Model Classification Table

Исход / Outcome	Предсказанные значения / Predicted values		
	0 (целевая переменная / target variable)	1 (переменная значений / value variable)	Вероятность верного прогноза / Probability of correct prediction
0 (целевая переменная / target variable)	42	24	63,6
1 (переменная значений / value variable)	23	130	85,0
Общая процентная доля / Total percentage	29,7	70,3	78,5

В построении приняли участие все заявленные ранее предикторы, а глубина дерева составила пять уровней. Анализ таблицы классификаций полученных результатов показал, что «общая правильность классификации» была хорошей и составила 80,4% (табл. 4), однако предсказанное значение целевой переменной значительно отличалось в худшую сторону и составило всего 13,2%. Правильность прогноза сместилась в сторону большего количества наблюдений.

Анализ таблиц классификаций моделей деревьев решений позволил нам сделать предварительный вывод о реалистичности прогноза целевого исхода. Сравнительный анализ всех построений по элементу отчёта «сводка для модели» представлен в табл. 5.

В целях объективизации полученных результатов и для определения наиболее точного бинарного классификатора среди построенных моделей мы воспользовались

**Таблица 4.** Таблица классификаций модели CRT**Table 4.** CRT (Classification and Regression Trees) Model Classification Table

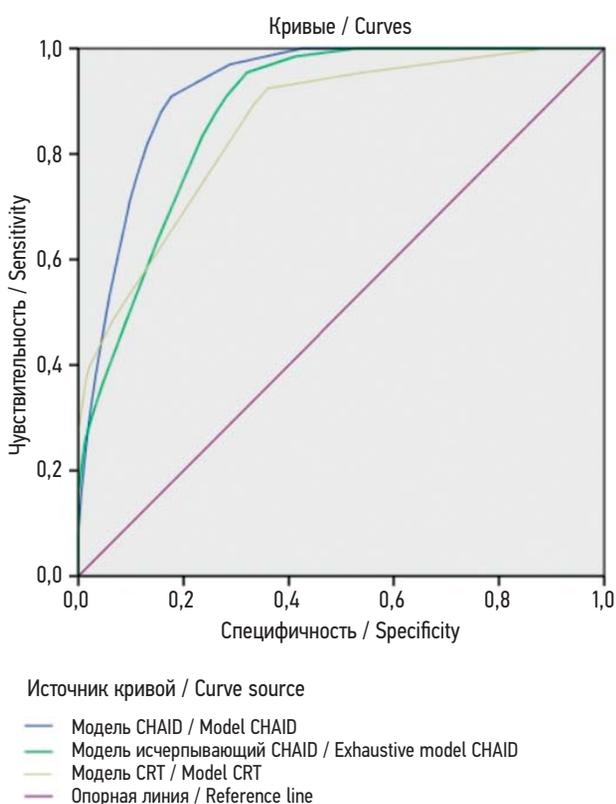
Исход / Outcome	Предсказанные значения / Predicted values		
	0 (целевая переменная / target variable)	1 (переменная значений / value variable)	Вероятность верного прогноза, % / Probability of correct prediction
0 (целевая переменная / target variable)	26	40	39,4
1 (переменная значений / value variable)	3	150	98,0
Общая процентная доля / Total percentage	13,2	86,8	80,4

**Таблица 5.** Совокупная сводка данных для построенных моделей**Table 5.** Cumulative summary of data for the constructed models

Метод построения	CHAID	Исчерпывающий CHAID / Exhaustive CHAID	CRT
Зависимая переменная / Dependent variable	Эстетичность / Aesthetics		
Независимые переменные / Independent variables	Длина кожного рубца, возраст ребёнка, локализация рубца, цветовой градиент относительно неизменной кожи / Length of skin scar, age of child, location of scar, color gradient		
Максимальное количество уровней / Maximum number of levels	3	3	5
Минимальное количество наблюдений в родительском узле / Minimum number of observations in parent node	8	8	6
Минимальное количество наблюдений в дочернем узле / Minimum number of observations in child node	4	4	3
Включённые в анализ независимые переменные / Independent variables included in the analysis	Длина, возраст, цветовой градиент / Length of skin scar, age of child, color gradient	Длина, возраст, локализация / Length of skin scar, age of child, location of scar	Длина, цветовой градиент, возраст, локализация / Length of skin scar, age of child, location of scar, color gradient
Число узлов / Number of nodes	32	34	29
Число терминальных узлов / Number of terminal nodes	25	26	15
Глубина / Depth	3	3	5

методом построения ROC-кривой (Receiver Operating Characteristic). Данный метод позволил определить дискриминирующую способность и выбрать порог отсечения, в нашем случае — способность модели правильно определять неудовлетворительный косметический результат на основе заданных предикторов. При построении графика переменной состояния выступила «эстетичность», а целевым значением — 0 (рис. 2). Анализ ROC-кривых позволил сделать вывод о том, какая из построенных моделей наиболее реалистично прогнозирует необходимый исход и пригодна для использования.

При визуальной оценке ROC-кривых наибольшую специфичность продемонстрировала модель CHAID. Для сравнения двух и более кривых применили стандартный для таких случаев параметр — площадь под кривой (Area Under Curve, AUC), сводные значения которого



**Рис. 2.** ROC-кривая для предиктивных моделей.

**Fig. 2.** ROC curve for predictive models.

**Таблица 6.** Площадь под кривой предиктивных моделей

**Table 6.** AUC (Area Under the Curve) of predictive models

Модели / Models	Площадь / Area	Стандартная ошибка / Standard Error	95% асимптотический доверительный интервал / 95% Asymptotic Confidence Interval	
			Нижняя граница / Lower Bound	Верхняя граница / Upper Bound
Модель CHAID / CHAID Model	0,924	0,017	0,890	0,922
Модель «Исчерпывающий CHAID» / Exhaustive CHAID Model	0,880	0,022	0,837	0,923
Модель CRT / CRT Model	0,857	0,027	0,805	0,909

представлены в табл. 6. Наибольшей площадью под кривой обладала предиктивная модель, построенная по методу CHAID, показав отличную «дискриминирующую способность» конструкции. Помимо этого, доверительный интервал данной модели содержал наиболее высокие значения и не пересекался со значениями интервалов других моделей. Ширина доверительного интервала CHAID составляла 0,032, данный числовой показатель можно было интерпретировать как, «хорошую точность оценки».

В качестве проверки работоспособности модели использовали кросс-проверку с установленным значением по умолчанию в 10 случайных выборках. Оценка кросс-валидации по методу повторной подстановки составила 0,118 при стандартной ошибке 0,011, а оценка по методу перекрёстной проверки — 0,121 при стандартной ошибке 0,013, что показывало работоспособность модели CHAID с хорошей обобщающей функцией.

Таким образом, предиктивная прогностическая модель по методу CHAID работоспособна, а предсказанные значения репрезентативны и применимы к реальным данным. Полная диаграмма дерева решений по методу CHAID представлена в приложении 1.

Отметим, что клиническое прогнозирование в диаграммах по типу деревьев решений осуществляется «снизу вверх», от терминального узла к родительскому, с учётом данных каждой пересекаемой по пути ветви [14]. Для того чтобы узнать, какие из терминальных узлов пригодны для интерпретации, построили таблицу выигрышей для узлов (табл. 7). В данной таблице была представлена информация о терминальных узлах в модели, которые содержали прогноз искомого результата (балл по шкале-опроснику менее 7). В столбце «Отклик» содержался процент искомого результата внутри одного узла. Например, для узла номер 27 отклик составляет 71,4%: это значило, что из 14 исходов, которые включены в узел, 10 — целевые. Значение параметра «отклик» для всех узлов можно было проверить по диаграмме дерева. Параметр «индекс», выраженный в процентах, представлял собой отношение доли отклика в каждом из узлов к идентичному параметру в контрольной выборке. Например, индекс для узла 16 равен 284,4%, тогда как доля целевого исхода для всей выборки составляет 30,1%. Индекс для каждого из терминальных узлов показывал вероятность попадания в целевую категорию внутри узла относительно

**Таблица 7.** Таблица выигрышей для узлов модели дерева решений CHAID**Table 7.** Pay-off table for nodes of the CHAID decision tree model

Узел / Nodes			Выигрыш, % / ????			
Узел / Nodes	Число целевых исходов / Number of Target Outcomes	Доля исходов от всех событий / Proportion of Outcomes from All Events	Число целевых исходов / Number of Target Outcomes	Проценты / Percentages	Отклик / Response	Индекс / Index
6	5	2,3	5	7,6	100,0	331,8
16	7	3,2	6	9,1	85,7	284,4
18	5	2,3	4	6,1	80,0	265,5
22	5	2,3	4	6,1	80,0	265,5
2	4	1,8	3	4,5	75,0	248,9
27	14	6,4	10	4,5	71,4	248,9
13	12	5,5	8	12,1	66,7	221,2
11	6	2,7	4	6,1	66,7	221,2
29	5	2,3	3	4,5	60,0	199,1

аналогичной вероятности для всей выборки. Если данный параметр принимает значение более 100%, значит, вероятность выбрать нужное значение внутри узла выше, чем в общей выборке, если значение менее 100% — преимущества выбора отсутствуют.

Таким образом, пригодные для анализа терминальные узлы с целевым исходом «неудовлетворительный эстетический результат» находятся под номерами 6, 16, 18, 22, 2, 27, 13, 11, 29.

## ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время среди научного медицинского сообщества предиктивное моделирование с использованием алгоритмов машинного обучения находит всё больший отклик и используется для прогнозирования как клинических исходов, так и вероятности наступления того или иного события. Например, в открытой базе данных PubMed по запросу «predictive model», «machine learning»<sup>1</sup> мы можем найти 1697 опубликованных статей, датированных 2024 годом, при том что количество научных статей на аналогичную тему за 2020 год составляет 584. Прогнозированию подвергается вероятность сердечно-сосудистых заболеваний, строятся модели исходов при онкологических заболеваниях и т.д. Внимание исследователей привлекает возможность предсказать вероятность события на основе исходных данных задолго до его наступления, при этом используют выборки от нескольких десятков до нескольких сотен тысяч, а количество предикторов — от единиц до сотен [18, 19]. Однако мы не смогли найти исследования, связанные с прогнозом эстетических параметров кожного рубца, в том числе у детей.

По результатам нашего исследования, наиболее значимо на эстетическое восприятие послеоперационного рубца влияет его длина. Это не зависит от возраста ребёнка,

локализации рубца и его цвета. Данная переменная является первой при расщеплении генеральной выборки в каждой из построенных моделей. Наиболее показательным в этом отношении являлся терминальный узел под номером 6, в который вошли пациенты с длиной рубца от 15,20 см до 18,40 см, а уровень целевой категории внутри узла составил 100%. Эти данные прямо подтверждают результаты исследования J. Kantor [20], который выявил характерную зависимость длины кожного рубца и косметического восприятия. Важно, что линейные послеоперационные рубцы чаще всего не обладают большой площадью в отличие от ожоговых или травматических, но могут быть протяжёнными.

В детской практике перед планированием оперативного лечения следует помнить о «пассивном росте» рубцовой ткани вслед за ростом ребёнка [21]. Иллюстрацией этого являлся пациент Б. в возрасте 9 лет, которому в период новорождённости была выполнена торакотомия по поводу атрезии пищевода (рис. 3). Вероятно, длина разреза составляла 6–7 см. При обследовании пациента в настоящее время длина рубца составляла 29,2 см. Ребёнок полностью социализирован,



**Рис. 3.** Клинический пример: пациент Б., 9 лет, послеоперационный рубец (целевая переменная — 0).

**Fig. 3.** Clinical case study: patient B., 9 y. o., postoperative scar (target variable — 0).

<sup>1</sup> PubMed [Internet]. Search result [cited 2025 Mar 2]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=predictive+model%2C+machine+learning>

не испытывает явлений дисфагии, однако рубец вызывает негативное отношение со стороны ребёнка и его родителей. Обсуждается возможность различных вариантов косметической коррекции послеоперационного рубца, а сам ребёнок считает кожные изменения «слишком большими».

Терминальные узлы под номерами 16 и 18 включали в себя зависимую переменную «цветовой градиент» и являлись дочерними по отношению к узлу номер 5, в котором сосредоточены наблюдения детей, чей рубец был длиной от 6,20 см до 15,20 см включительно (рис. 4). Несмотря на относительно небольшие различия в цвете от неизменной кожи, был зафиксирован неудовлетворительный эстетический исход, подтверждая тем самым закономерность, что длина рубца приоритетна для переживаний и негативного эмоционального опыта ребёнка. С возрастанием градиента цвета при аналогичных параметрах длины также наблюдался целевой исход (неудовлетворительный эстетический результат), что подтверждено в терминальных узлах 20 и 22, в которых вероятность неудовлетворительного эстетического результата достигала 75% и 80%.

Терминальные узлы под номерами 11 и 13 учитывали переменную «возраст», в них с одинаковой частотой в 66,7% наблюдали негативный исход. Они представляли собой ветви от узлов 1 и 3. В узле под номером 11 с вероятностью 66,7% предсказан негативный эстетический исход для детей 15–16 лет, у которых длина послеоперационного рубца составляет 3,30 см и менее. Несмотря на относительно небольшой размер кожного рубца, дети подросткового возраста воспринимали рубец отрицательно. Данную прогностическую ситуацию возможно объяснить с двух позиций. Во-первых, в этом возрасте завершается

формирование Я-концепции как совокупности знаний о своём теле и личности [22]. Даже минимальные отличительные черты от общепринятого стандарта могут быть для подростка источником переживаний, что подтверждено серией публикаций зарубежных авторов [23, 24, 25]. Во-вторых, именно в этом возрасте рубец может стать источником общественного обсуждения и буллинга. Данный факт следует учитывать детским хирургам при планировании даже минимальных оперативных вмешательств у детей этой возрастной группы.

Терминальный узел 27 содержал информацию о детях 9–12 лет, а уровень прогноза целевой категории составил 71,4% при длине рубца 1,40–2,10 см. Результаты прогноза для этой группы пациентов сходны с результатами, которые содержались в терминальном узле номер 13. В нём представлена информация о детях 7–10 лет включительно при длине кожного рубца 3,50–6,00 см. В большинстве случаев это были дети, перенёвшие операции по поводу острого аппендицита открытым способом или лапароскопически. Зачастую источником формирования мнения о себе в этом возрасте служит «общественный взрослый», в данном случае родитель пациента.

В узле номер 29 были сосредоточены данные о детях 9–12 лет с длиной рубца более 3 см. Ожидаемо, что наличие главного предиктора расщепления привело к высокой вероятности потери эстетичности (более 60%).

Важным явилось содержание терминального узла под номером 22, где содержится информация о пациентах, длина рубца которых составляла от 6,20 см до 15,20 см включительно, а цветовой градиент был велик — более 22%. В данном случае вероятность отрицательного исхода

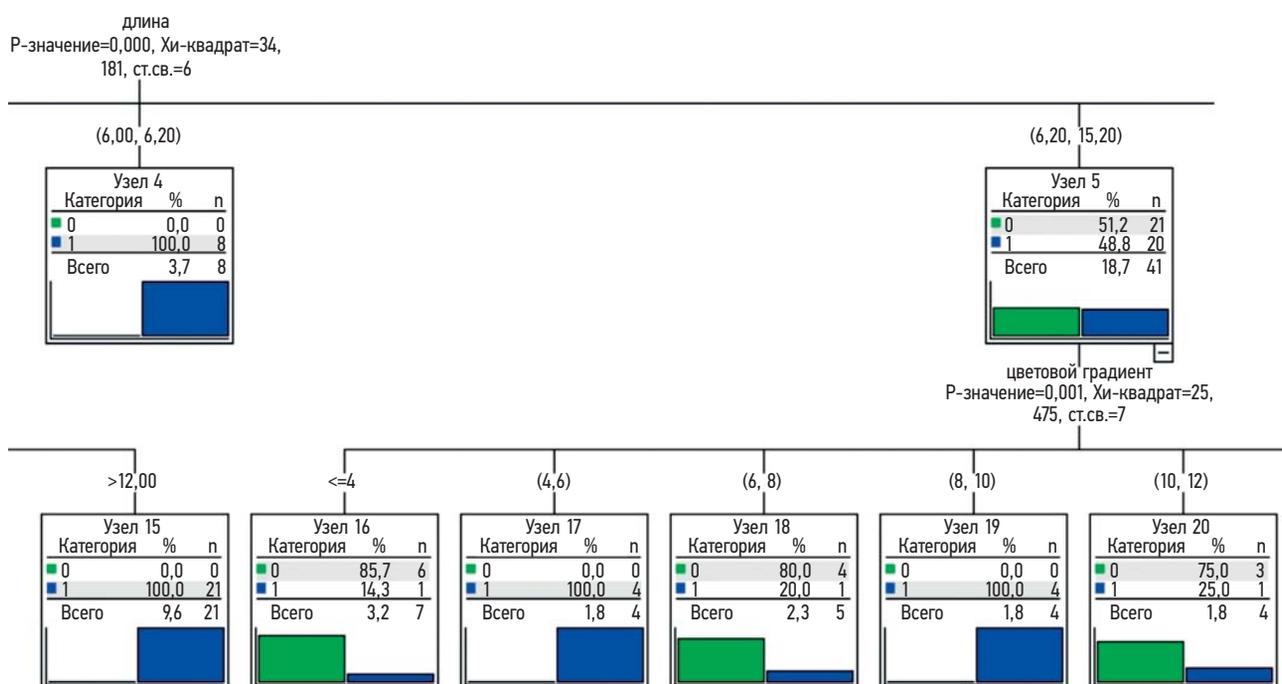


Рис. 4. Дерево решений по методу CHAID (фрагмент): терминальные узлы 16–18.

Fig. 4. CHAID decision tree (fragment): terminal nodes 16–18.

была 50%, т.е. в аналогичном количестве случаев эстетичность не страдала. Данный парадокс, по всей видимости, можно объяснить тем, что перенесённое оперативное вмешательство было выполнено по жизненным показаниям, а его исход в виде восстановления функции приоритетен как для ребёнка, так и его родителей. Например, в случае этапного хирургического лечения эктрофии мочевого пузыря приоритетным для качества жизни являлось восстановление функции органа, а не кожный рубец.

Таким образом, образование послеоперационного рубца всегда индивидуально и многофакторно, однако значимые предикторы эстетического исхода должны быть учтены на этапе планирования операции.

## Ограничения исследования

Для наибольшей реалистичности прогноза следует использовать большее количество предикторов (факторов): например, пол пациента, культурные и языковые особенности и т.д. Для этих целей необходимо создание базы данных послеоперационных рубцов в детской хирургии с учётом предикторов. Кроме того, в дальнейших исследованиях по данной теме возможно избежать категоричности бинарной оценки результата путём введения дополнительных критериев исхода.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленном исследовании разработана предиктивная прогностическая модель эстетичности послеоперационного рубца в детской хирургии на основе деревьев решений. Это первая попытка прогнозирования параметров подобного рода в педиатрической практике.

Мы установили, что наиболее важным фактором, влияющим на эстетичность послеоперационного рубца, является его длина вне зависимости от локализации, возраста и цветового градиента. Для подросткового возраста даже минимальные телесные изменения, независимо от их локализации, могут привести к неудовлетворительному эстетическому исходу. При этапном хирургическом лечении врождённых пороков развития качество жизни определяется восстановлением функции органа, а не характеристиками кожного рубца.

Результаты исследования будут полезны для применения на практике в детской хирургии при планировании оперативных вмешательств.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Приложение 1. Дерево решений по методу CHAID.  
DOI:

**Вклад авторов.** Д.С. Савельев — концепция и дизайн исследования, исследование, обзор литературы, написание текста статьи; С.Ю. Городков — концепция и дизайн исследования, написание

и редактирование текста статьи; И.В. Горемыкин — редактирование и утверждение окончательного варианта статьи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

**Этическая экспертиза.** Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского» Минздрава России (заключение этического комитета № 7 от 02.02.2022). Все участники до включения в исследование подписали форму информированного добровольного согласия, утверждённую этическим комитетом в составе протокола исследования.

**Источники финансирования.** Отсутствуют.

**Раскрытие интересов.** Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

**Оригинальность.** При проведении исследования и создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

**Доступ к данным.** Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе неприменима, данные могут быть опубликованы в открытом доступе.

**Генеративный искусственный интеллект.** При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

**Рассмотрение и рецензирование.** Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента и научный редактор издания.

## ADDITIONAL INFORMATION

Supplement 1. CHAID decision tree.

DOI:

**Author contributions.** D.S. Savelev, study concept and design; material collection and processing; manuscript writing, literature review; S.Y. Gorodkov, study concept and design, editing; I.V. Goremykin, editing. All authors approved the final version to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

**Ethics approval.** The present study protocol was approved by the local Ethics Committee of the Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky (No. 7 by 02.02.2022). All study participants voluntarily signed an informed consent form before being included in the study.

**Funding sources.** No funding.

**Disclosure of interests.** The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

**Statement of originality.** The authors did not utilize previously published information (text, illustrations, data) in conducting the research and creating this paper.

**Data availability statement.** The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, data can be published as open access.

**Generative AI.** Generative AI technologies were not used for this article creation.

**Provenance and peer-review.** This paper was submitted to the journal on an initiative basis and reviewed according to the usual procedure. Two external reviewers and the scientific editor of the publication participated in the review.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Ferguson MW, Whitby DJ, Shah M, et al. Scar formation: the spectral nature of fetal and adult wound repair. *Plast Reconstr Surg.* 1996;97(4):854–860. doi: 10.1097/00006534-199604000-00029
2. Huang TR, Chen SG, Chen JC, Liu SC. Validation of fespixon in postoperative scar cosmesis using quantitative digital photography analysis. *Aesthet Surg J.* 2023;43(6):NP427–NP437. doi: 10.1093/asj/sjad005
3. Möller E, Martinez R, Rode H, Adams S. Scar wars. *S Afr J Surg.* 2019;57(4):41.
4. Vercelli S, Ferriero G, Sartorio F, et al. Clinimetric properties and clinical utility in rehabilitation of postsurgical scar rating scales: a systematic review. *Int J Rehabil Res.* 2015;38(4):279–286. doi: 10.1097/MRR.000000000000134
5. Krakowski AC, Totri CR, Donelan MB, Shumaker PR. Scar management in the pediatric and adolescent populations. *Pediatrics.* 2016;137(2):e20142065. doi: 10.1542/peds.2014-2065
6. Carrière ME, Mokkink LB, Tyack Z, et al. Development of the patient scale of the Patient and Observer Scar Assessment Scale (POSAS) 3.0: a qualitative study. *Qual Life Res.* 2023;32(2):583–592. doi: 10.1007/s11136-022-03244-6
7. Durani P, McGrouther DA, Ferguson MW. Current scales for assessing human scarring: a review. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2009;62(6):713–720. doi: 10.1016/j.bjps.2009.01.080
8. Menninghaus W, Wagner V, Wassiliwizky E, et al. What are aesthetic emotions? *Psychol Rev.* 2019;126(2):171–195. doi: 10.1037/rev0000135
9. Savelev D.S., Gorodkov S.Y., Goremykin I.V., Bratashova M.V. Subjective pediatric assessment scar scale — SPASS. Development and validation of the scale // Russian Journal of Pediatric Surgery. — 2025. — Vol. 29. — N. 2. — P. 80–91. doi: 10.17816/ps822
10. Van der Wal MB, Verhaegen PD, Middelkoop E, van Zuijlen PP. A clinimetric overview of scar assessment scales. *J Burn Care Res.* 2012;33(2):e79–87. doi: 10.1097/BCR.0b013e318239f5dd
11. Wilson IB, Cleary PD. Linking clinical variables with health-related quality of life. A conceptual model of patient outcomes. *JAMA.* 1995;273(1):59–65.
12. Bakas T, McLennon SM, Carpenter JS, et al. Systematic review of health-related quality of life models. *Health Qual Life Outcomes.* 2012;10:134. doi: 10.1186/1477-7525-10-134
13. Savelev DS, Gorodkov SYu, Goremykin IV. Standardization of color measurement in the medical photography in clinical practice. *Russian Journal of Pediatric Surgery.* 2024;28(5):460–471. doi: 10.17816/ps803 EDN: EDRVEP
14. Mienye D, Nobert J. A survey of decision trees: concepts, algorithms, and applications. *IEEE Access.* 2024;(99):1–1. doi: 10.1109/ACCESS.2024.3416838
15. Jiao S, Song J, Liu B. A review of decision tree classification algorithms for continuous variables. *J Physics Conference Series.* 2020;1651(1):012083. doi: 10.1088/1742-6596/1651/1/012083
16. Collins S, Peek N, Riley R, Martin G. Sample sizes of prediction model studies in prostate cancer were rarely justified and often insufficient. *J Clin Epidemiol.* 2021;133:53–60. doi: 10.1016/j.jclinepi.2020.12.011
17. Steyerberg E, Schemper M, Harrell F. Logistic regression modeling and the number of events per variable: selection bias dominates. *J Clin Epidemiol.* 2011 64(12):1464–1465; author reply 1463–4. doi: 10.1016/j.jclinepi.2011.06.016
18. Maimaitiuerxun R, Chen W, Xiang J, et al. Predictive model for identifying mild cognitive impairment in patients with type 2 diabetes mellitus: a CHAID decision tree analysis. *Brain Behav.* 2024;14(3):e3456. doi: 10.1002/brb3.3456
19. Xiang S, Li L, Wang L, et al. A decision tree model of cerebral palsy based on risk factors. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2021;34(23):3922–3927. doi: 10.1080/14767058.2019.1702944
20. Kantor J. Utilizing the Patient Attitudes to Scarring Scale (PASS) to develop an outcome measure for postoperative scarring: a study in 430 patients. *J Am Acad Dermatol.* 2016;74(6):1280–1281.e2. doi: 10.1016/j.jaad.2016.01.026
21. Barone N, Safran T, Vorstenbosch J, et al. Current advances in hypertrophic scar and keloid management. *Semin Plast Surg.* 2021;35(3):145–152. doi: 10.1055/s-0041-1731461
22. Vygotsky LS. *Educational psychology.* Ed. by V.V. Davydov. Moscow: Pedagogika-Press; 1996. 536 p. (Psychology: classical works). (In Russ.)
23. Imren, C et al. "Scar Perception in School-aged Children After Major Surgery in Infancy." *Journal of pediatric surgery vol. 59,11 (2024): 161659.* doi:10.1016/j.jpedsurg.2024.07.044
24. Ten Kate, Chantal A et al. "Psychometric Performance of the Stony Brook Scar Evaluation Scale and SCAR-Q Questionnaire in Dutch Children after Pediatric Surgery." *International journal of environmental research and public health vol. 21,1 57. 30 Dec. 2023,* doi:10.3390/ijerph21010057
25. van de Kar, Annekatrien L et al. "Influence of age on scar tissue: A retrospective study on the differences in scar tissue development between children and adults." *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery: JPRAS vol. 73,7 (2020): 1357-1404.* doi:10.1016/j.bjps.2020.02.024

## ОБ АВТОРАХ

**\* Савельев Дмитрий Сергеевич;**

адрес: Россия, 410012, Саратов, ул. Большая Казачья, д. 112;  
ORCID: 0009-0006-6832-3318;  
eLibrary SPIN: 6057-3390;  
e-mail: saveljevds@gmail.com

**Городков Сергей Юрьевич,** канд. мед. наук, доцент;

ORCID: 0000-0001-9281-6872;  
eLibrary SPIN: 2458-6382;  
e-mail: gorodcov@yandex.ru

**Горемыкин Игорь Владимирович,** д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0002-6074-9780;  
eLibrary SPIN: 4172-3482;  
e-mail: goremykine@gmail.com

## AUTHORS' INFO

**\* Dmitrii S. Savelev, MD;**

address: 112 Bolshaya Kazachia st, 410012 Saratov, Russia;  
ORCID: 0009-0006-6832-3318;  
eLibrary SPIN: 6057-3390;  
e-mail: saveljevds@gmail.com

**Sergey Yu. Gorodkov, MD, Cand. Sci. (Medicine), Assistant Professor;**

ORCID: 0000-0001-9281-6872;  
eLibrary SPIN: 2458-6382;  
e-mail: gorodcov@yandex.ru

**Igor V. Goremykin, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;**

ORCID: 0000-0002-6074-9780;  
eLibrary SPIN: 4172-3482;  
e-mail: goremykine@gmail.com

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author