

ISSN 1995-5464 (Print); ISSN 2408-9524 (Online)

<https://doi.org/10.16931/1995-5464.2024-3-108-115>

Прогнозирование билиарной фистулы после панкреатодуоденальной резекции с применением нейросети

Суворов В.А. *, Панин С.И., Коваленко Н.В., Жаворонкова В.В.,
Постолов М.П., Линченко Д.В., Панова А.В., Воронина А.С.

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет» Минздрава России; 400131, Волгоград, пл. Павших Борцов, д. 1, Российская Федерация

Цель. Установить факторы риска развития билиарной фистулы после панкреатодуоденальной резекции.

Материал и методы. С 2018 по 2023 г. выполнено 128 панкреатодуоденальных резекций. Развитие билиарной фистулы прогнозировали с помощью нейросети и метода логистической регрессии. Точность прогнозирования оценивали по результатам ROC-анализа. При сравнении ROC-кривых использовали тест ДеЛонг.

Результаты. Билиарная фистула развилась у 16 (12,5%) пациентов. При однофакторном анализе установлено, что риск формирования билиарной фистулы увеличивался при возрасте пациента >70 лет, индексе коморбидности Charlson >7 баллов, сахарном диабете, анемии после операции, диаметре общего желчного протока <5 мм и развитии панкреатической фистулы. По данным многофакторного анализа, риск развития билиарной фистулы возрастал при сахарном диабете, диаметре общего желчного протока <5 мм и анемии после панкреатодуоденальной резекции. Прогностическая многофакторная модель развития билиарной фистулы, построенная с помощью искусственной нейросети, продемонстрировала более высокую чувствительность (87,5%) и специфичность (95,5%) по сравнению с логистической регрессионной моделью (68,8 и 90,2%; $p = 0,03$).

Заключение. Использование нейросетей в предиктивном анализе результатов панкреатодуоденальной резекции позволяет увеличить эффективность прогнозирования билиарной фистулы.

Ключевые слова: билиарная фистула; нейросеть; логистическая регрессия; панкреатодуоденальная резекция; машинное обучение

Ссылка для цитирования: Суворов В.А., Панин С.И., Коваленко Н.В., Жаворонкова В.В., Постолов М.П., Линченко Д.В., Панова А.В., Воронина А.С. Прогнозирование билиарной фистулы после панкреатодуоденальной резекции с применением нейросети. *Анналы хирургической гепатологии.* 2024; 29 (3): 108–115.
<https://doi.org/10.16931/1995-5464.2024-3-108-115>

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Using an artificial neural network to predict biliary fistula after pancreaticoduodenal resection

Suvorov V.A. *, Panin S.I., Kovalenko N.V., Zhavoronkova V.V., Postolov M.P.,
Linchenko D.V., Panova A.V., Voronina A.S.

Volgograd State Medical University; 1, Pavshikh Bortsov Sq., Volgograd, 400131, Russian Federation

Aim. To determine the risk factors of biliary fistula after pancreaticoduodenal resection.

Materials and methods. 128 pancreaticoduodenal resections were performed in the period of 2018–2023. Biliary fistula was predicted using a neural network and logistic regression. Prediction accuracy was evaluated by ROC analysis (Receiver Operator Characteristics). The DeLong test was used to compare ROC curves.

Results. Biliary fistula developed in 16 patients (12.5%). Univariate analysis showed that risk factors of biliary fistula included the patient's age >70 years, Charlson comorbidity index >7 points, diabetes mellitus, postsurgical anemia, common bile duct diameter <5 mm, and pancreatic fistula. In multivariate analysis, diabetes mellitus, common bile duct diameter <5 mm, and anemia after pancreaticoduodenal resection increased the risk of biliary fistula. A prognostic multivariate model of biliary fistula development, constructed using an artificial neural network demonstrated higher sensitivity (87.5%) and specificity (95.5%) compared to the logistic regression model (68.8% and 90.2%; $p = 0.03$).

Conclusion. The use of neural networks in predictive analysis of pancreaticoduodenal resection results can increase the efficiency of biliary fistula prediction.

Keywords: biliary fistula; neural network; logistic regression; pancreaticoduodenal resection; machine learning

For citation: Suvorov V.A., Panin S.I., Kovalenko N.V., Zhavoronkova V.V., Postolov M.P., Linchenko D.V., Panova A.V., Voronina A.S. Using an artificial neural network to predict biliary fistula after pancreaticoduodenal resection. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii = Annals of HPB surgery*. 2024; 29 (3): 108–115. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2024-3-108-115> (In Russian)

The authors declare no conflict of interest.

● Введение

Панкреатодуоденальная резекция (ПДР) является единственной радикальной операцией при злокачественных опухолях органов панкреатодуоденальной зоны [1, 2]. Летальность после ПДР в крупных центрах составляет 1–5%, частота осложнений варьирует от 50 до 70%, а их инвазивное устранение требуется в 20–40% наблюдений [3, 4]. Частота билиарной фистулы (БФ) после ПДР варьирует от 1 до 50%, составляя в среднем 3–8% [5–7]. Факторы риска развития БФ после ПДР в настоящее время остаются предметом дискуссий.

Цель исследования – установить факторы риска формирования БФ после ПДР.

● Материал и методы

Проведено ретроспективное исследование результатов лечения 128 пациентов (табл. 1), оперированных на клинической базе ФГБОУ ВО “Волгоградский государственный медицинский университет” Минздрава России – ГБУЗ “Волгоградский областной клинический онкологический диспансер” – с 1 сентября 2018 г. по 1 сентября 2023 г. [8]. Среди пациентов было 73 (54,5%) мужчины, 61 (45,5%) женщина. Возраст пациентов варьировал от 38 до 77 лет, медиана возраста составила 63 года (Q1–Q3 58–68). У 74 (57,8%) больных злокачественная опухоль локализовалась в головке поджелудочной железы (ПЖ). Опухоль ПЖ соответствовала стадии IA по классификации TNM (8-е издание) у 6 (4,7%) боль-

ных, IB – у 14 (10,9%), IIA – у 21 (16,4%), IIB – у 28 (21,9%), III – у 5 (3,9%). У 39 (30,5%) больных опухоль выявлена в ампуле большого сосочка (БС) двенадцатиперстной кишки (ДПК): стадия IA определена у 9 (7%) пациентов, IIA – у 12 (9,4%), IIB – у 15 (11,7%), IIIA – у 3 (2,3%). В 12 (9,4%) наблюдениях выявлена опухоль ДПК: I стадии – у 3 (2,3%) больных, IIA – у 5 (3,9%), IIB – у 4 (3,1%). У 3 (2,3%) больных диагностирована опухоль в дистальном отделе общего желчного протока (ОЖП): I стадии – у 2 (1,6%) больных, IIA – у 1 (0,8%). Всем больным выполнили гастропанкреатодуоденальную резекцию (ГПДР, операция Whipple). Реконструкцию проводили на 2 отдельных петлях с отключением по Ру. На одной петле формировали панкреатикоэнтероанастомоз способом “duct-to-mucosa”, гепатикоэнтероанастомоз формировали на этой же петле кишки однорядным непрерывным швом “конец в бок”. На другой петле кишки формировали гастроэнтероанастомоз “бок в бок” однорядным непрерывным швом.

БФ определяли как увеличение концентрации билирубина в отделяемом по дренажам в ≥ 3 раза от верхней границы нормы для плазмы крови, или желчный выпот в брюшную полость на ≥ 3 -й день после операции, или необходимость в мини-инвазивном лечении либо релaparотомии, обусловленную скоплениями желчи в брюшной полости [9]. Характеристика пациентов с БФ представлена в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика пациентов
Table 1. Patient characteristics

Параметр	Значение
Число мужчин, женщин, абс. (%)	7 (43,8), 9 (56,2)
Медиана возраста, лет	62 [59–71]
Локализация опухоли, абс. (%):	
головка ПЖ	4 (25)
ампула БСДПК	6 (37,5)
ДПК	3 (18,8)
дистальный отдел ОЖП	3 (18,8)
Медиана индекса коморбидности Charlson	9 [6–10]
Медиана времени появления БФ, сут	3 [1–8]
Медиана прекращения желчеистечения, сут	17 [14–25]
Гипербилирубинемия до операции, абс. (%)	2 (12,5)
Анемия до операции, абс. (%)	3 (18,8)
Анемия после операции, абс. (%)	10 (62,5)
Гипергликемия до операции, абс. (%)	12 (75)
Гипергликемия после операции, абс. (%)	5 (31,3)

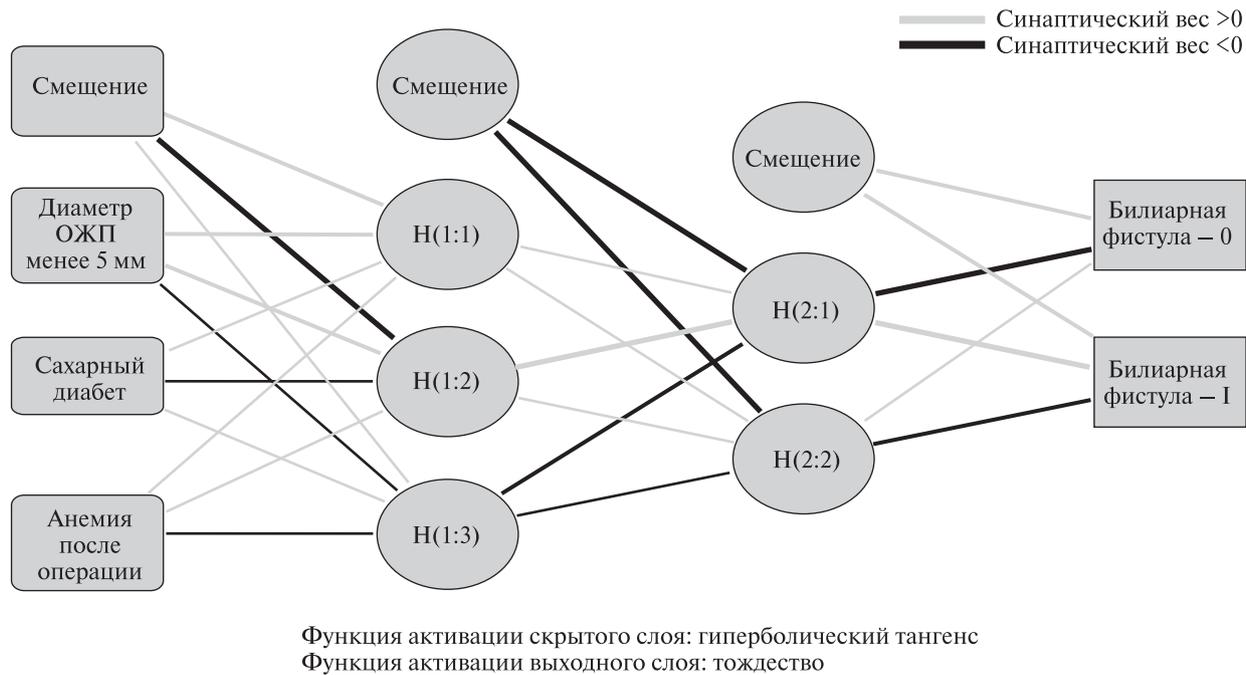


Рис. 1. Нейросетевая прогностическая модель. Н – скрытые слои нейросети. Смещение – вероятность ошибки, которую нейросеть предусматривает в расчетах.

Fig. 1. Neural network predictive model. Н – hidden layers of the neural network. Bias is an error probability that the neural network provides for in the calculations.

Статистические расчеты проводили в программе SPSS v.26. Тип распределения количественных данных устанавливали с помощью критерия Колмогорова–Смирнова. Для всех непрерывных показателей был установлен тип распределения, отличный от нормального, поэтому для описания мер центральных тенденций использовали медиану, 25-й и 75-й квартили [Q1–Q3]. Процентные доли и абсолютные значения применяли для номинальных признаков. Сравнение их проводили при помощи критерия χ^2 Пирсона, критерия χ^2 с поправкой Йейтса на непрерывность (при ожидаемом значении <10 хотя бы в одной из ячеек четырехпольной таблицы), точного критерия Фишера (при ожидаемом значении <5 хотя бы в одной из ячеек четырехпольной таблицы).

Для прогнозирования использовали 2 метода: нейросетевой анализ и логистическую регрессию (ЛР). Для оценки моделей диагностической точности проводили их сравнение при помощи теста ДеЛонг. Для нейросетевого анализа использовали многослойный перцептрон. В состав прогностической модели были включены 4 слоя нейронов: входной, 2 скрытых и выходной. Входные нейроны являются факторами риска появления БФ, установленными при ЛР. Скрытые слои представляют собой внутренние алгоритмы нейросети и не поддаются внешнему контролю. Выходной слой нейронов характеризует 2 возможных варианта изучаемой переменной: 0 – отсутствие БФ, 1 – развитие БФ (рис. 1).

Потенциальные предикторы развития БФ также устанавливали с помощью однофакторной ЛР, оценивая при этом отношения шансов (Crude Odds Ratio, COR) и 95% доверительный интервал (ДИ), после чего формировали многофакторную модель со скорректированными отношениями шансов (Adjusted Odds Ratio – AOR) и 95% ДИ. Количественные признаки, продемонстрировавшие статистическую значимость в однофакторном анализе, подвергали дихотомии с помощью ROC-анализа. При селекции предикторов для итоговой модели ЛР применяли обратный метод Вальда. Мерой определенности, указывающей на ту часть дисперсии, которая может быть объяснена с помощью ЛР, служил коэффициент R^2 Найджелкерка.

● Результаты

Медиана продолжительности ГПДР составила 210 [180–300] мин. Интраоперационные осложнения (кровотечение) выявлены в 2 (1,6%) наблюдениях. Послеоперационные осложнения отмечены у 63 (49,2%) пациентов, послеоперационная летальность составила 3,9% ($n = 5$). БФ после ГПДР развилась у 16 (11,9%) из 128 больных. В 3 (18,8%) наблюдениях БФ была единственным осложнением послеоперационного периода. У 13 (81,2%) пациентов БФ сочеталась с другими осложнениями (рис. 2). Релапаротомия потребовалась в 2 (12,5%) наблюдениях. Одному (6,25%) больному выполнено ушивание дефекта холедохоэнтероанастомоза при массивном

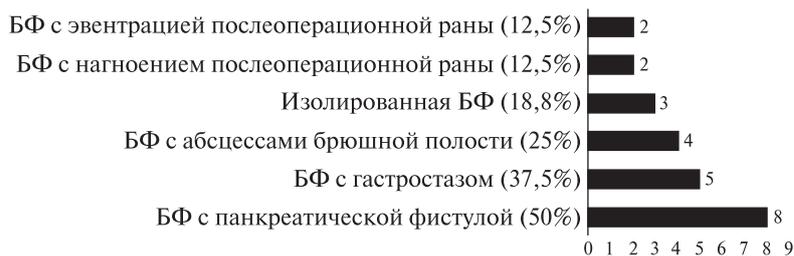


Рис. 2. Диаграмма. Сочетание БФ с другими осложнениями после ГПДР.

Fig. 2. Diagram. Combination of biliary fistula with other complications after gastropancreaticoduodenal resection.

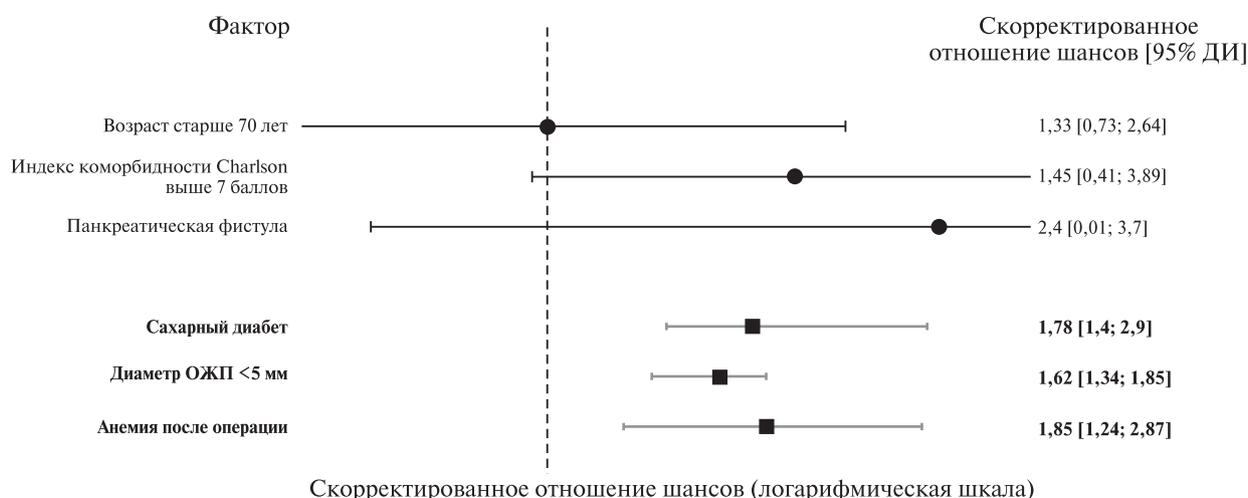


Рис. 3. Диаграмма. Факторы риска развития БФ.

Fig. 3. Diagram. Risk factors for development of biliary fistula.

(>1 л/сут) истечении желчи по дренажу на 2-е сутки после ГПДР. Еще 1 (6,25%) пациенту выполнили формирование холедохостомы – вмешательство на гепатикоэнтероанастомозе было одним из этапов релапаротомии, санации и дренирования брюшной полости, остановки аррозивного кровотечения из желудочно-двенадцатиперстной артерии на фоне несостоятельности панкреатикоэнтероанастомоза. У остальных пациентов БФ устранена продолжительным дренированием подпеченочного пространства (10 (62,5%)) и чрескожной чреспеченочной холангиостомией под контролем УЗИ (4 (25%)). Летальность при БФ составила 12,5% – умерли 2 из 16 пациентов на фоне множественных осложнений, включавших панкреатическую фистулу, перитонит и аррозивное кровотечение. При сравнении летальности среди пациентов с БФ (2/16 (12,5%)) и без БФ (3/112 (2,7%)) статистически значимые различия не установлены ($p = 0,12$, точный критерий Фишера).

При однофакторном анализе статистически значимыми факторами формирования БФ были возраст пациента >70 лет, индекс коморбидности Charlson >7 баллов, панкреатическая фистула, сахарный диабет, диаметр ОЖП <5 мм, анемия после операции. При многофакторном

анализе значимым влиянием на развитие БФ обладали только 3 последних фактора. Влияние и величина эффекта каждого фактора в итоговой прогностической модели отражены на рис. 3.

Полученная при ЛР модель прогноза является статистически значимой ($p < 0,001$). Исходя из значения коэффициента детерминации Найджелкерка, модель объясняет 62,1% наблюдаемой дисперсии прогнозируемого события (т.е. развития БФ). Подгрупповой анализ с учетом установленных предикторов (см. рис. 2) также подтверждает правильность разработанного прогноза. При наличии сахарного диабета БФ была отмечена в 12 (52,2%) наблюдениях, при отсутствии этого заболевания – в 4 (3,8%) (χ^2 с поправкой Йейтса 36,05; $p < 0,001$). При анемии в послеоперационном периоде БФ выявлена у 10 (45,5%) пациентов, при нормальном значении гемоглобина – у 6 (5,7%) (χ^2 с поправкой Йейтса 22,87; $p < 0,001$). Необходимо отметить, что при диаметре ОЖП <5 мм БФ развилась у 14 (20,4%) пациентов, при диаметре ОЖП ≥ 5 мм – у 2 (6,8%) (χ^2 с поправкой Йейтса 13,34; $p < 0,001$).

На рис. 4 представлена взвешенная важность факторов, составляющих нейросетевую предиктивную модель. Наибольшим синаптическим

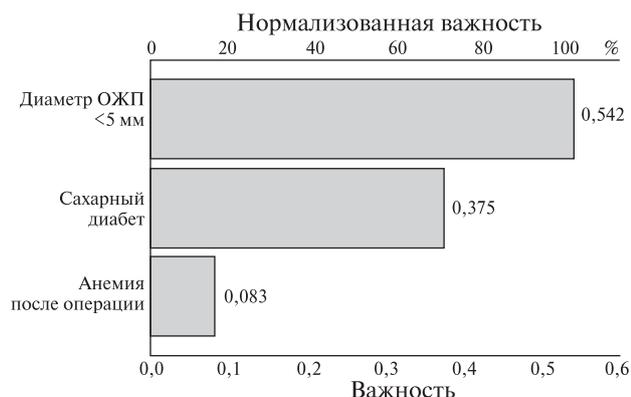


Рис. 4. Диаграмма. Взвешенная важность факторов, составляющих нейросетевую предиктивную модель.

Fig. 4. Diagram. Weighted importance of factors in the neural network predictive model.

весом, т.е. вкладом в прогнозирование развития БФ после ГПДР, обладает фактор малого (<5 мм) диаметра ОЖП.

Для внутренней валидации полученной нейросетевой прогностической модели вся совокупность пациентов разбита на 2 выборки: обучающую (88 (68,7%) больных) и тестовую (40 (31,3%)). При обучении модели зарегистрировано 9,4% (12/128) ложных сигналов развития БФ, при тестировании – 5,5% (7/128).

При сравнительном анализе прогностических моделей, построенных с помощью ЛР и искусственного интеллекта (ИИ), между ними установлены статистически значимые различия, согласно тесту ДеЛонг ($p = 0,03$). Нейросетевая модель продемонстрировала более высокую чувствительность, специфичность и диагностическую эффективность, чем логистическая модель (табл. 2).

● Обсуждение

БФ после ГПДР становится предметом исследований не так часто, как панкреатическая фистула, поскольку редко приводит к летальному

исходу. В то же время БФ утяжеляет течение других осложнений, увеличивает продолжительность пребывания в стационаре и стоимость лечения пациента [10]. БФ могут формироваться после ГПДР на фоне изолированной несостоятельности гепатикоэнтероанастомоза или совместно с панкреатической фистулой [11]. В хирургическом сообществе в настоящее время нет согласия по поводу факторов риска развития БФ.

При изучении результатов 1618 операций исследователи выявили БФ у 58 (3,6%) больных. В результате многофакторного анализа установлено, что значимым предиктором этого осложнения был диаметр общего желчного протока [12], что согласуется с результатами, полученными в обсуждаемом исследовании. В другой работе БФ отмечена у 66 (8%) из 843 пациентов после ГПДР. При многофакторном анализе методом бинарной ЛР предикторами риска БФ были положительный край резекции ОЖП, панкреатическая фистула, продолжительность операции и уровень АсАТ до операции [13]. В одном из исследований БФ выявлена у 38 (6,7%) из 552 больных после ГПДР. Многофакторный анализ не позволил установить статистически значимых предикторов БФ, а при однофакторном регрессионном анализе вероятность развития БФ увеличивали незлокачественная природа заболевания и отсутствие механической желтухи [14]. По данным других исследователей, у 32 (6,4%) из 500 перенесших лапароскопическую ГПДР пациентов диагностирована БФ. Согласно данным многофакторного анализа, предикторами ее развития были сердечно-сосудистые заболевания, продолжительность вмешательства, уровень СА-125 и общего билирубина до операции [15].

Технология ИИ в хирургической онкологии позволяет прогнозировать события, распознавая скрытые в больших массивах данных закономерности [16]. Это дает возможность выявить нелинейные зависимости между характеристиками

Таблица 2. Сравнение моделей прогнозирования БФ

Table 2. Comparison of biliary fistula prediction models

Параметр	Модель на бинарной ЛР	Модель на машинном обучении
Чувствительность, %	68,8	87,5
Специфичность, %	90,2	95,5
Диагностическая эффективность, %	87,5	94,5
Площадь под кривой	0,89	0,92
p	<0,001	<0,001
Стандартная ошибка	0,01	0,003
95% ДИ	0,81–0,96	0,84–0,96
Коэффициент детерминации R2, %	62,1	72,1
Значимость различий (тест ДеЛонг)	$p = 0,03$	

исходных параметров нарушения здоровья пациентов и прогнозом [17]. В последние годы увеличивается число исследований, посвященных применению нейросетей при прогнозировании результатов хирургического лечения пациентов со злокачественными опухолями панкреатодуоденальной зоны [18]. Эффективность применения ИИ показана исследователями при расчете вероятности развития панкреатической фистулы [19]. В литературе упоминаний об использовании нейросетей для прогнозирования БФ после ГПДР не обнаружили. Вместе с тем эта технология позволяет создавать прогностические модели высокой точности [20]. Проведя анализ факторов развития БФ, установили, что модели ИИ продемонстрировали большую прогностическую точность, чем традиционная логистическая регрессионная модель, поэтому ИИ можно считать перспективным методом прогнозирования.

● Заключение

Использование нейросетей в предиктивном анализе результатов ГПДР дает возможность увеличить эффективность прогнозирования БФ.

Участие авторов

Суворов В.А. — концепция исследования, сбор данных, написание текста.

Панин С.И. — научное руководство, утверждение окончательного варианта статьи.

Коваленко Н.В. — редактирование.

Жаворонкова В.В. — редактирование.

Постолов М.П. — редактирование.

Линченко Д.В. — сбор материала.

Панова А.В. — сбор материала, написание текста.

Воронина А.С. — сбор материала.

Authors contributions

Suvorov V.A. — research concept, collection of data, writing text.

Panin S.I. — scientific supervision, approval of the final version of the article.

Postolov M.P. — editing.

Kovalenko N.V. — editing.

Zhavoronkova V.V. — editing.

Postolov M.P. — editing.

Linchenko D.V. — collection of material.

Panova A.V. — collection of material, writing text.

Voronina A.S. — collection of material.

● Список литературы

1. Ветшев П.С., Чжао А.В., Ионкин Д.А., Степанова Ю.А., Жаворонкова О.И., Кулезнева Ю.В., Мелехина О.В., Панченков Д.Н., Астахов Д.А., Иванов Ю.В., Бруслик С.В., Свиридова Т.И. Применение мини-инвазивных технологий для абляции злокачественных опухолей поджелудочной железы. *Анналы хирургической гепатологии*. 2019; 24 (3): 87–98.
2. Шабунин А.В., Бедин В.В., Тавобиллов М.М., Карпов А.А., Каралкин А.В., Василенко Е.И., Абрамов К.А., Ланцынова А.В. Определение оптимального варианта реконструктивного этапа панкреатодуоденальной резекции на основе модифицированного скинтиграфического исследования моторики ЖКТ. *Анналы хирургической гепатологии*. 2023; 28 (3): 48–55. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2023-3-48-55>
3. Горин Д.С., Кригер А.Г., Галкин Г.В., Калинин Д.В., Глотов А.В., Калдаров А.Р., Гальчина Ю.С., Берелавичус С.В. Прогнозирование возникновения панкреатического свища после панкреатодуоденальной резекции. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2020; 7: 61–67. <https://doi.org/10.17116/hirurgia202007161>
4. Патютко Ю.И., Котельников А.Г., Поляков А.Н., Подлужный Д.В. Эволюция хирургии рака головки поджелудочной железы и периапулярной зоны. *Анналы хирургической гепатологии*. 2019; 24 (3): 45–53. <http://doi.org/10.16931/1995-5464.2019345-53>
5. Кабанов М.Ю., Глушков Н.И., Семенов К.В., Кошелев Т.Е., Савченков Д.К., Сизоненко Н.А., Голошапова И.М. Современные подходы к профилактике и лечению послеоперационных осложнений при раке головки поджелудочной железы. *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова*. 2023; 18 (2): 128–133. https://doi.org/10.25881/20728255_2023_18_2_128
6. Райн В.Ю. Билиарная фистула после панкреатодуоденальной резекции. *Новости хирургии*. 2022; 30 (1): 95–101.
7. Козлов И.А., Байдарова М.Д., Шевченко Т.В., Икрамов Р.З., Жариков Ю.О. Проксимальные резекции поджелудочной железы. Ближайшие результаты. *Анналы хирургической гепатологии*. 2020; 25 (4): 107–117.
8. Суворов В.А., Панин С.И., Коваленко Н.В., Жаворонкова В.В., Постолов М.П., Толстопятов С.Е., Бубликов А.Е., Панова А.В., Попова В.О. Прогнозирование панкреатической фистулы после панкреатодуоденальной резекции с использованием машинного обучения. *Сибирский онкологический журнал*. 2023; 22 (6): 25–34. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2023-22-6-25-34>
9. Birgin E., Tesfazgi W., Knoth M., Wilhelm T.J., Post S., Ruückert F. Evaluation of the new ISGLS definitions of typical posthepatectomy complications. *Scand. J. Surg.* 2019; 108 (2): 130–136. <http://doi.org/10.1177/1457496918798202>
10. El Nakeeb A., El Sorogy M., Hamed H., Said R., Elrefai M., Ezzat H., Askar W., Elsabbagh A.M. Biliary leakage following pancreaticoduodenectomy: prevalence, risk factors and management. *Hepatobiliary Pancreat. Dis. Int.* 2019; 18 (1): 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.hbpd.2018.10.005>
11. Perri G., Bortolato C., Marchegiani G., Holmberg M., Romandini E., Stureson C., Bassi C., Sparrelid E., Ghorbani P., Salvia R. Pure biliary leak vs. pancreatic fistula associated: non-identical twins following pancreaticoduodenectomy. *HPB (Oxford)*. 2022; 24 (9): 1474–1481. <https://doi.org/10.1016/j.hpb.2022.03.001>
12. Andrianello S., Marchegiani G., Malleo G., Pollini T., Bonamini D., Salvia R., Bassi C., Landoni L. Biliary fistula after pancreaticoduodenectomy: data from 1618 consecutive pancreaticoduodenectomies. *HPB (Oxford)*. 2017; 19 (3): 264–269. <https://doi.org/10.1016/j.hpb.2016.11.011>
13. Maatman T.K., Loncharich A.J., Flick K.F., Simpson R.E., Ceppa E.P., Nakeeb A., Nguyen T.K., Schmidt C.M., Zyromski N.J., House M.G. Transient biliary fistula after

- pancreatoduodenectomy increases risk of biliary anastomotic stricture. *J. Gastrointest. Surg.* 2021; 25 (1): 169–177. <https://doi.org/10.1007/s11605-020-04727-y>
14. Farooqui W., Penninga L., Burgdorf S.K., Storkholm J.H., Hansen C.P. Biliary leakage following pancreatoduodenectomy: experience from a high-volume center. *J. Pancreat. Cancer.* 2021; 7 (1): 80–85. <https://doi.org/10.1089/pancan.2021.0014>
 15. Wang R., Jiang P., Chen Q., Liu S., Jia F., Liu Y. Pancreatic fistula and biliary fistula after laparoscopic pancreatoduodenectomy: 500 patients at a single institution. *J. Minim. Access. Surg.* 2023; 19 (1): 28–34. https://doi.org/10.4103/jmas.jmas_336_21
 16. Мельников П.В., Доведов В.Н., Каннер Д.Ю., Черниковский И.Л. Искусственный интеллект в онкохирургической практике. Тазовая хирургия и онкология. 2020; 10 (3–4): 60–64.
 17. Голубков А.В., Гаврилова М.П. Применение искусственных нейронных сетей в профилактической и клинической медицине (научный обзор). *Профилактическая и клиническая медицина.* 2020; 4 (77): 30–39. https://doi.org/10.47843/2074-9120_2020_4_30
 18. Ingwersen E.W., Stam W.T., Meijs B.J.V., Roor J., Besselink M.G., Groot Koerkamp B., de Hingh I.H.J.T., van Santvoort H.C., Stommel M.W.J., Daams F.; Dutch Pancreatic Cancer Group. Machine learning versus logistic regression for the prediction of complications after pancreatoduodenectomy. *Surgery.* 2023; 174 (3): 435–440. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2023.03.012>
 19. Yoon S.J., Kwon W., Lee O.J., Jung J.H., Shin Y.C., Lim C.S., Kim H., Jang J.Y., Shin S.H., Heo J.S., Han I.W. External validation of risk prediction platforms for pancreatic fistula after pancreatoduodenectomy using nomograms and artificial intelligence. *Ann. Surg. Treat. Res.* 2022; 102 (3): 147–152. <https://doi.org/10.4174/ast.2022.102.3.147>
 20. Singh G. Искусственный интеллект при колоректальном раке: обзор. *Сибирский онкологический журнал.* 2023; 22 (3): 99–107.
 5. Kabanov M.Yu., Glushkov N.I., Sementsov K.V., Koshelev T.E., Savchenkov D.K., Sizonenko N.A., Goloshchapova I.M. Modern approaches to the prevention and treatment of postoperative complications in pancreatic head cancer. *Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical center.* 2023; 18 (2): 128–133. https://doi.org/10.25881/20728255_2023_18_2_128 (In Russian)
 6. Rayn V.Yu. Biliary fistula after pancreaticoduodenectomy. *Novosti Khirurgii.* 2022; 30 (1): 95–101. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2023-3-48-55> (In Russian)
 7. Kozlov I.A., Baydarova M.D., Shevchenko T.V., Ikramov R.Z., Zharikov Yu.O. Duodenum-preserving total pancreatic head resection. Early postoperative outcomes. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii = Annals of HPB Surgery.* 2020; 25 (4): 107–117. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.20204107-117> (In Russian)
 8. Suvorov V.A., Panin S.I., Kovalenko N.V., Zhavoronkova V.V., Postolov M.P., Tolstopyatov S.E., Bublikov A.E., Panova A.V., Popova V.O. Prediction of pancreatic fistula after pancreatoduodenectomy using machine learning. *Siberian Journal of Oncology.* 2023; 22 (6): 25–34. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2023-22-6-25-34> (In Russian)
 9. Birgin E., Tesfazgi W., Knoth M., Wilhelm T.J., Post S., Ruückert F. Evaluation of the new ISGLS definitions of typical posthepatectomy complications. *Scand. J. Surg.* 2019; 108 (2): 130–136. <http://doi.org/10.1177/1457496918798202>
 10. El Nakeeb A., El Sorogy M., Hamed H., Said R., Elrefai M., Ezzat H., Askar W., Elsabbagh A.M. Biliary leakage following pancreaticoduodenectomy: prevalence, risk factors and management. *Hepatobiliary Pancreat. Dis. Int.* 2019; 18 (1): 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.hbpd.2018.10.005>
 11. Perri G., Bortolato C., Marchegiani G., Holmberg M., Romandini E., Sturesson C., Bassi C., Sparrelid E., Ghorbani P., Salvia R. Pure biliary leak vs. pancreatic fistula associated: non-identical twins following pancreatoduodenectomy. *HPB (Oxford).* 2022; 24 (9): 1474–1481. <https://doi.org/10.1016/j.hpb.2022.03.001>
 12. Andrianello S., Marchegiani G., Malleo G., Pollini T., Bonamini D., Salvia R., Bassi C., Landoni L. Biliary fistula after pancreaticoduodenectomy: data from 1618 consecutive pancreaticoduodenectomies. *HPB (Oxford).* 2017; 19 (3): 264–269. <https://doi.org/10.1016/j.hpb.2016.11.011>
 13. Maatman T.K., Loncharich A.J., Flick K.F., Simpson R.E., Ceppa E.P., Nakeeb A., Nguyen T.K., Schmidt C.M., Zyromski N.J., House M.G. Transient biliary fistula after pancreatoduodenectomy increases risk of biliary anastomotic stricture. *J. Gastrointest. Surg.* 2021; 25 (1): 169–177. <https://doi.org/10.1007/s11605-020-04727-y>
 14. Farooqui W., Penninga L., Burgdorf S.K., Storkholm J.H., Hansen C.P. Biliary leakage following pancreatoduodenectomy: experience from a high-volume center. *J. Pancreat. Cancer.* 2021; 7 (1): 80–85. <https://doi.org/10.1089/pancan.2021.0014>
 15. Wang R., Jiang P., Chen Q., Liu S., Jia F., Liu Y. Pancreatic fistula and biliary fistula after laparoscopic pancreatoduodenectomy: 500 patients at a single institution. *J. Minim. Access. Surg.* 2023; 19 (1): 28–34. https://doi.org/10.4103/jmas.jmas_336_21
 16. Melnikov P.V., Dovedov V.N., Kanner D.Yu., Chernikovskiy I.L. Artificial intelligence in surgical practice. *Tazovaya Khirurgiya i Oncologiya = Pelvic Surgery and Oncology.* 2020; 10 (3–4): 60–64. <https://doi.org/10.17650/2686-9594-2020-10-3-4-60-64> (In Russian)

● References

1. Vetshev P.S., Chzhao A.V., Ionkin D.A., Stepanova Yu.A., Zhavoronkova O.I., Kulezneva Yu.V., Melekhina O.V., Panchenkov D.N., Astakhov D.A., Ivanov Yu.V., Bruslik S.V., Sviridova T.I. Minimally invasive technologies for ablation of pancreatic malignancies. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii = Annals of HPB Surgery.* 2019; 24 (3): 87–98. <http://doi.org/10.16931/1995-5464.2019387-98> (In Russian)
2. Shabunin A.V., Bedin V.V., Tavobilov M.M., Karpov A.A., Karalkin A.V., Vasilenko E.I., Abramov K.A., Lantsynova A.V. Determination of the optimal reconstruction for pancreaticoduodenal resection based on modified scintigraphy of gastrointestinal motility. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii = Annals of HPB Surgery.* 2023; 28 (3): 48–55. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2023-3-48-55> (In Russian)
3. Gorin D.S., Kriger A.G., Galkin G.V., Kalinin D.V., Glotov A.V., Kaldarov A.R., Galchina Yu.S., Berelavichus S.V. Predicting of pancreatic fistula after pancreatoduodenectomy. *Pirogov Russian Journal of Surgery = Khirurgiya. Zurnal im. N.I. Pirogova.* 2020; 7: 61–67. <https://doi.org/10.17116/hirurgia202007161> (In Russian)
4. Patyutko Yu.I., Kotelnikov A.G., Polyakov A.N., Podluzhnyi D.V. Evolution of surgery for pancreatic head and periampullary cancer. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii = Annals of HPB Surgery.* 2019; 24 (3): 45–53. <http://doi.org/10.16931/1995-5464.2019345-53> (In Russian)

17. Golubkov A.V., Gavrilova M.P. Application of artificial neural networks in preventive and clinical medicine (review). *Preventive and Clinical Medicine*. 2020; 4 (77): 30–39. https://doi.org/10.47843/2074-9120_2020_4_30 (In Russian)
18. Ingwersen E.W., Stam W.T., Meijs B.J.V., Roor J., Besselink M.G., Groot Koerkamp B., de Hingh I.H.J.T., van Santvoort H.C., Stommel M.W.J., Daams F.; Dutch Pancreatic Cancer Group. Machine learning versus logistic regression for the prediction of complications after pancreatoduodenectomy. *Surgery*. 2023; 174 (3): 435–440. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2023.03.012>
19. Yoon S.J., Kwon W., Lee O.J., Jung J.H., Shin Y.C., Lim C.S., Kim H., Jang J.Y., Shin S.H., Heo J.S., Han I.W. External validation of risk prediction platforms for pancreatic fistula after pancreatoduodenectomy using nomograms and artificial intelligence. *Ann. Surg. Treat. Res.* 2022; 102 (3): 147–152. <https://doi.org/10.4174/ast.2022.102.3.147>
20. Singh G. Artificial intelligence in colorectal cancer: a review. *Siberian Journal of Oncology*. 2023; 22 (3): 99–107. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2023-22-3-99-107> (In Russian)

Сведения об авторах [Authors info]

Суворов Владимир Александрович – канд. мед. наук, ассистент кафедры онкологии ФГБОУ ВО “Волгоградский государственный медицинский университет” Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0002-9114-6683>.

E-mail: oncologist.suvorov@gmail.com.

Панин Станислав Игоревич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой общей хирургии ФГБОУ ВО “Волгоградский государственный медицинский университет” Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0003-4086-2054>.

E-mail: panin-74@yandex.ru

Коваленко Надежда Витальевна – канд. мед. наук, доцент, заведующая кафедрой онкологии, гематологии и трансплантологии Института непрерывного медицинского и фармацевтического образования ФГБОУ ВО “Волгоградский государственный медицинский университет” Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0002-0759-0889>.

E-mail: vokod@volganet.ru

Жворонкова Виктория Викторовна – канд. мед. наук, доцент, заведующая кафедрой онкологии ФГБОУ ВО “Волгоградский государственный медицинский университет” Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0002-3403-7931>.

E-mail: viktoriyavrach@mail.ru

Постолов Михаил Петрович – канд. мед. наук, ассистент кафедры онкологии ФГБОУ ВО “Волгоградский государственный медицинский университет” Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0001-9953-7286>. E-mail: 1postolov1@mail.ru

Линченко Диана Владимировна – канд. мед. наук, доцент кафедры общей хирургии ФГБОУ ВО “Волгоградский государственный медицинский университет” Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0001-9016-8883>.

E-mail: Mrs.KDV@yandex.ru

Панова Алина Владимировна – клинический ординатор кафедры онкологии ФГБОУ ВО “Волгоградский государственный медицинский университет” Минздрава России. <https://orcid.org/0009-0009-7118-4234>. E-mail: Kravec.Alina.1995@yandex.ru

Воронина Алена Сергеевна – студентка 5-го курса лечебного факультета ФГБОУ ВО “Волгоградский государственный медицинский университет” Минздрава России. <https://orcid.org/0009-0006-5171-9471>. E-mail: voronina.alyona2001@yandex.ru

Для корреспонденции *: Суворов Владимир Александрович – e-mail: oncologist.suvorov@gmail.com

Vladimir A. Suvorov – Cand. of Sci. (Med.), Assistant, Department of Oncology, Volgograd State Medical University. <https://orcid.org/0000-0002-9114-6683>. E-mail: oncologist.suvorov@gmail.com.

Stanislav I. Panin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of General Surgery, Volgograd State Medical University. <https://orcid.org/0000-0003-4086-2054>. E-mail: panin-74@yandex.ru

Nadezhda V. Kovalenko – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department of Oncology, Hematology and Transplantology of the Continued Medical and Pharmaceutical Education Institute, Volgograd State Medical University. <https://orcid.org/0000-0002-0759-0889>. E-mail: vokod@volganet.ru

Victoriya V. Zhavoronkova – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department of Oncology, Volgograd State Medical University. <https://orcid.org/0000-0002-3403-7931>. E-mail: viktoriyavrach@mail.ru

Mikhail P. Postolov – Cand. of Sci. (Med.), Assistant, Department of Oncology, Volgograd State Medical University. <https://orcid.org/0000-0001-9953-7286>. E-mail: 1postolov1@mail.ru

Diana V. Linchenko – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Department of General Surgery, Volgograd State Medical University. <https://orcid.org/0000-0001-9016-8883>. E-mail: Mrs.KDV@yandex.ru

Alina V. Panova – Clinical Resident, Department of Oncology, Volgograd State Medical University. <https://orcid.org/0009-0009-7118-4234>. E-mail: Kravec.Alina.1995@yandex.ru

Alyona S. Voronina – 5th year student, Faculty of General Medicine, Volgograd State Medical University. <https://orcid.org/0009-0006-5171-9471>. E-mail: voronina.alyona2001@yandex.ru

For correspondence *: Vladimir A. Suvorov – e-mail: oncologist.suvorov@gmail.com

Статья поступила в редакцию журнала 18.02.2024.
Received 18 February 2024.

Принята к публикации 25.06.2024.
Accepted for publication 25 June 2024.