

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ ОДНОМОМЕНТНЫХ ОПЕРАЦИЙ У ПАЦИЕНТОВ С СОЧЕТАННЫМ АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКИМ ПОРАЖЕНИЕМ КОРОНАРНЫХ И СОННЫХ АРТЕРИЙ

DOI: 10.17691/stm2022.14.1.06

УДК 616.13–004.6:004.891.3

Поступила 30.12.2021 г.



Л.Н. Иванов, д.м.н., профессор кафедры госпитальной хирургии им. Б.А. Королева¹;
сердечно-сосудистый хирург²;

В.Г. Петренко, сердечно-сосудистый хирург²;

Н.И. Гришина, клинический ординатор¹;

А.С. Мухин, д.м.н., профессор, зав. кафедрой госпитальной хирургии им. Б.А. Королева¹

¹Приволжский исследовательский медицинский университет, пл. Минина и Пожарского, 10/1,
Н. Новгород, 603005;

²Специализированная кардиохирургическая клиническая больница им. академика Б.А. Королёва,
ул. Ванеева, 209, Н. Новгород, 603136

Цель исследования — оценить возможность использования искусственного интеллекта для определения наиболее значимых предикторов при прогнозировании исходов оперативной коррекции пациентов с поражением коронарных и сонных артерий.

Материалы и методы. Проведено ретроспективное исследование результатов одномоментного хирургического вмешательства у пациентов с сочетанным атеросклеротическим поражением коронарного русла и церебральных артерий (n=42) (кроме того, поражение коронарных и сонных артерий у этих пациентов отличалось тяжестью и распространенностью). С использованием программы TADA проанализированы параметры, которые могут являться предикторами сердечно-сосудистого риска. Для обучения программы было построено 10 моделей. Самой удачной оказалась модель с точностью предсказаний 92%.

Результаты. В результате одномоментной коррекции у всех пациентов отсутствовали 30-дневные коронарные осложнения. Со стороны сосудисто-мозгового бассейна у 2 пациентов развилось острое нарушение мозгового кровообращения по ишемическому типу инсульта. Летальность составила 2,4%, летальный исход был обусловлен послеоперационным желудочно-кишечным кровотечением.

Наиболее значимыми предикторами модель программы TADA посчитала следующие параметры: время пережатия внутренней сонной артерии в минутах (51,24%); поражение ствола левой коронарной артерии (30,42%); диастолическое АД (18,28%). При пережатии внутренней сонной артерии меньше 18 мин осложнения маловероятны, а при значении больше 46 мин они практически неизбежны. С увеличением степени поражения ствола левой коронарной артерии вероятность осложнений возрастает нелинейно. Высокое диастолическое АД практически никогда не совпадает с наличием осложнений, так же, как и низкое. Наиболее велика вероятность осложнений при значении от 70 до 80 мм рт. ст.

У пациентов с трехсосудистым поражением коронарных артерий наблюдалась репрезентативная картина незначимого признака.

Заключение. Использование искусственного интеллекта для определения предикторов риска у пациентов с сочетанным атеросклеротическим поражением коронарных и сонных артерий является эффективным методом для прогнозирования рисков одномоментных вмешательств.

Для контактов: Иванов Леонид Николаевич, e-mail: vascular54@mail.ru

Ключевые слова: мультифокальный атеросклероз; искусственный интеллект; внутренняя сонная артерия; коронарные артерии.

Как цитировать: Ivanov L.N., Petrenko V.G., Grishina N.I., Mukhin A.S. Application of artificial intelligence to assess the risks of simultaneous operations for patients with concomitant atherosclerotic damage of coronary and carotid arteries. *Sovremennye tehnologii v medicine* 2022; 14(1): 56, <https://doi.org/10.17691/stm2022.14.1.06>

English

Application of Artificial Intelligence to Assess the Risks of Simultaneous Operations for Patients with Concomitant Atherosclerotic Damage of Coronary and Carotid Arteries

L.N. Ivanov, MD, DSc, Professor, Department of Hospital Surgery named after B.A. Korolyov¹; Cardiovascular Surgeon²;

V.G. Petrenko, Cardiovascular Surgeon²;

N.I. Grishina, Clinical Resident¹;

A.S. Mukhin, MD, DSc, Professor, Head of the Department of Hospital Surgery named after B.A. Korolyov¹

¹Privolzhsky Research Medical University, 10/1 Minin and Pozharsky Square, Nizhny Novgorod, 603005, Russia;

²Specialized Cardiosurgical Clinical Hospital named after Academician B.A. Korolev, 209 Vaneeva St., Nizhny Novgorod, 603136, Russia

The aim of the study is to assess the possibility of using artificial intelligence to determine the most significant predictors of the operative correction outcomes for patients with damaged coronary and carotid arteries.

Materials and Methods. The retrospective study of the simultaneous (or single-stage) surgical intervention results has been carried out in patients with combined atherosclerotic damage of the coronary bed and cerebral arteries (n=42), which was severe and extensive. The parameters which may be predictors of the cardiovascular risk were analyzed using the TADA program. Ten models were built for program learning. The model with 92% predictive accuracy appeared to be the most successful.

Results. Simultaneous correction resulted in the absence of 30-day coronary complications in all patients. With respect to the cerebral vascular territory, acute ischemic stroke developed in 2 patients. The lethality rate was 2.4%, the fatal outcome was caused by postoperative gastrointestinal bleeding.

The TADA program model considered the following parameters to be the most significant predictors: internal carotid artery cross-clamping time in minutes (51.24%); damage to the left coronary artery stem (30.42%); diastolic AP (18.28%). If cross-clamping of the internal carotid artery lasts for less than 18 min, complications are not likely to occur, while they are practically inevitable if the time exceeds 46 min. The probability of complications grows nonlinearly with the increase of the extent of the left coronary artery stem injury. A high diastolic AP never virtually coincides with the presence of complications, nor does the low one. The highest probability of complications is at the values from 70 to 80 mm Hg.

In patients with a triple vessel injury of the coronary arteries, a representative picture of a nonsignificant feature is observed.

Conclusion. Application of artificial intelligence for determining risk predictors for patients with concurrent atherosclerotic damage of the coronary and carotid arteries is an effective method for prognosticating the risks of simultaneous interventions.

Key words: multifocal atherosclerosis; artificial intelligence; internal carotid artery; coronary arteries.

Введение

В сердечно-сосудистой хирургии у пациентов наиболее часто встречается мультифокальный атеросклероз, ассоциированный с формированием опасных гемодинамически значимых поражений в коронарных (КА) и сонных артериях (СА) [1]. Наличие сочетанного атеросклеротического поражения двух и более сосудистых бассейнов сопряжено с определенным риском инфаркта миокарда (ИМ), острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) и летального исхода, что создает трудности в выборе оптимальной стра-

тегии лечения. С целью уменьшения риска развития неврологических и коронарных осложнений выполняются одномоментные либо этапные операции, тактика которых основывается на функциональных резервах миокарда и головного мозга [2]. Этапное лечение пациентов с множественной сопутствующей патологией имеет ряд недостатков: два оперативных вмешательства и анестезиологических пособия, длительное пребывание в стационаре и повышенный риск осложнений в некорректированном бассейне на первом этапе хирургического лечения [3–5]. Преимуществом симультанных операций является проведение одного

анестезиологического пособия и снижение времени реабилитации пациента в послеоперационном периоде [6], однако сохраняется риск, связанный с большой гемодинамической нагрузкой и длительностью перфузионного обеспечения [7, 8]. При одномоментных операциях у пациентов в ранние сроки удается восстановить кровоток в КА и СА, исключая развитие осложнений, которые могли быть при этапных операциях в некорригированном бассейне [9]. Тем не менее оценка безопасности одномоментной реваскуляризации требует дальнейшего изучения. Внедрение математических методов искусственного интеллекта, создание прогностической модели в результате анализа предикторов риска пациента открывают дополнительные возможности оптимального решения вопроса о стратегии ведения больных с сочетанным поражением КА и СА и персонализированного выбора одномоментной реваскуляризации.

Цель исследования — оценить возможность использования искусственного интеллекта для определения наиболее значимых предикторов при прогнозировании исходов оперативной коррекции пациентов с поражением коронарных и сонных артерий.

Материалы и методы

Проведен ретроспективный анализ результатов лечения 178 пациентов, которые поступили в

Специализированную кардиохирургическую клиническую больницу им. академика Б.А. Королёва (Н. Новгород) с диагнозом «ишемическая болезнь сердца (ИБС) в сочетании с ишемической болезнью головного мозга» в период с 2011 по 2019 г. 42 больным была проведена одномоментная реконструкция КА и СА. У пациентов с одновременной каротидной эндартерэктомией (КЭ) и аортокоронарным шунтированием (АКШ) поражения КА и СА, как правило, отличались тяжестью и распространенностью. 136 пациентам с сочетанным поражением КА и СА выполняли открытые поэтапные вмешательства, а также эндоваскулярные вмешательства как один из этапов реваскуляризации. Эти пациенты были исключены из исследования, поскольку чистое сравнение двух стратегий не всегда представляется возможным.

Исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией (2013) и одобрено этическим комитетом Приволжского исследовательского медицинского университета. От всех пациентов получено добровольное информированное согласие.

Клиническая характеристика исследуемых представлена в табл. 1. Мужчины составляли большинство пациентов. Индекс массы тела был незначительно увеличен.

Под коронарной недостаточностью подразумевали распределение пациентов по ФК стенокардии и количеству пораженных КА. Более половины больных в анамнезе имели перенесенный ИМ. Степень хронической сосудисто-мозговой недостаточности определяли по классификации А.В. Покровского (1979): у подавляющего числа пациентов преобладало бессимптомное течение.

Исходя из тяжести коморбидного состояния оценивали риск кардиохирургических вмешательств по шкале EuroSCORE: низкий риск (0–2 балла) наблюдали у 17 пациентов (95% CI — 1,81–2,38); умеренный риск (3–5 баллов) — у 9 (95% CI — 3,79–4,71); высокий риск (6–45 баллов) — у 16 человек (95% CI — 5,39–9,78). Среднее значение коэффициента EuroSCORE составило 4,45%.

Степень поражения СА оценивали по данным дуплексного сканирования с цветовым картированием. Согласно классификации С.М. Steffen и G. Geroulakos (1993) визуализировали типы атеросклеротических бляшек каротидной локализации: I тип наблюдался у 2 (4,8%) пациентов; II тип — у 8 (19,0%); III тип — у 13 (30,9%); IV тип — у 11 (26,2%); V тип — у 8 (19,0%). Атеросклеротическое поражение третьего бассейна — артерий ниж-

Т а б л и ц а 1

Клиническая характеристика пациентов с поражением коронарных и сонных артерий (n=42)

Характеристика пациентов	Значение	95% CI
Возраст, лет (M±σ)	63±7	61–65
Пол, n (%):		
мужской	37 (88)	—
женский	5 (12)	—
Индекс массы тела >25 (M±σ)	26,7±3,6	25,6–27,8
NYHA, n (%):		
II	8 (19,0)	—
III	31 (73,8)	—
IV	3 (7,1)	—
Перенесенный инфаркт миокарда, n (%)	25 (59,5)	—
Нестабильная стенокардия, n (%)	2 (4,8)	—
Фракция выброса левого желудочка (<60%), % (M±σ)	56,9±9,1	54,2–59,7
Конечно-диастолический объем, мл (M±σ)	103,3±32,2	93,5–113,1
Конечно-систолический объем, мл (M±σ)	45,8±24,1	38,5–53,1
Степень хронической сосудисто-мозговой недостаточности, n (%):		
1-я	32 (76,2)	—
2-я	2 (4,8)	—
3-я	3 (7,1)	—
4-я	5 (11,9)	—
Сахарный диабет 2-го типа, n (%)	11 (26,2)	—
Хроническая почечная недостаточность, n (%)	3 (7,1)	—

них конечностей — имело место у 3 (7,1%) пациентов, у 1 (2,4%) больного выявлена аневризма инфраренального отдела брюшной аорты. У большинства больных (57,1%) отмечалась артериальная гипертензия (АГ). 10 (24,0%) пациентов имели изолированную систолическую АГ, тогда как остальные больные — переменную АГ разной степени (табл. 2).

Симультанные операции проводились пациентам со сниженным резервом коронарного и мозгового кровообращения.

Основными показаниями к одномоментным операциям являлись поражение ствола левой коронарной артерии (ЛКА), трехсосудистое поражение коронарного русла, III–IV ФК стенокардии, нестабильная стенокардия, коэффициент высокого риска по шкале EuroSCORE, наличие гемодинамически значимых стенозов СА, окклюзии контралатеральной внутренней сонной артерии (ВСА) и двустороннего поражения СА.

При одномоментных операциях вначале проводили реконструкцию ВСА, затем выполняли реваскуляризацию коронарного бассейна в условиях нормотермического искусственного кровообращения (ИК) и кристаллоидной фармакоолодовой кардиоopleгии (использовали растворы Кустодиол и Консол).

Виды выполненных одномоментных операций:

эверсионная КЭ — 12 (28,6%) пациентов; классическая КЭ — 22 (52,4%) пациента; аорто-бикаротидное шунтирование — 3 (7,1%) пациента;

КЭ с пластикой ВСА — 4 (9,5%) пациента;

редрессация, резекция ВСА — 1 (2,4%) пациент;

протезирование правой ВСА — 2 (4,8%) пациента;

АКШ — 42 (100%) пациента.

Основные показатели интраоперационного периода (M±σ):

перезакрытие аорты — 68,2±53,5 мин;

перезакрытие ВСА — 34,4±10,5 мин;

перфузия — 87,1±29,8 мин;

объем перфузии — 1142,9±259,6 мин.

Данные исследуемых параметров были загружены в программу TADA. Для обучения построено 10 моделей. Для каждой модели оценивали точность предсказания. Самой удачной оказалось модель с точностью предсказания 92%. Рассмотрим ее подробнее. Все данные в этой модели делятся на три части: 40%; 30%; 30%. Первая выборка называется обучающей (training), вторая — валидационной (validation), третья — тестовой (test). С помощью обучающей выборки программа подбирает 10000 формул, которые имеют потенциал к тому, чтобы хорошо предсказывать целевую переменную на основании нецелевых. На второй выборке выбранные формулы соревновались между собой и выбиралась одна — самая успешная. На третьей выборке данная формула использовалась для предсказания диагноза и формирования показателей точности.

Таблица 2

Вариабельность АД у пациентов с поражением коронарных и сонных артерий (n=24)

Артериальная гипертензия	Систолическое АД, 95% CI	Диастолическое АД, 95% CI
1-я степень (n=7)	138,44–152,99	90,22–93,50
2-я степень (n=5)	164,89–187,10	99,38–106,62
3-я степень (n=2)	141,47–268,53	51,46–178,53
Изолированная систолическая (n=10)	143,05–158,55	75,26–85,34

Качество предсказания оценивали с помощью следующих характеристик: точность предсказания — accuracy; коэффициент корреляции Мэттьюса — Matthews correlation coefficient (MCC); площадь под кривой — area under curve (AUC); отношение числа верно оцененных положительных исходов к общему числу положительных исходов — true positive rate (TPR); отношение числа верно оцененных отрицательных исходов к общему числу отрицательных исходов — true negative rate (TNR); отношение числа верно оцененных положительных исходов к общему числу объектов, которые были помечены моделью как положительные, — positive predictive value (PPV).

Таким образом, среднее гармоническое двух величин — точность (precision — PPV) и полнота (recall) — рассчитывается по формуле:

$$F1 = \frac{2}{\text{recall}^{-1} + \text{precision}^{-1}} = 2 \frac{\text{precision} \cdot \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}} = \frac{tp}{tp + \frac{1}{2}(fp + fn)}$$

где tp — число истинно-положительных категорий; fp — число ложноположительных категорий; fn — число ложноотрицательных категорий.

Статистическую обработку данных проводили параллельно анализу данных в программе TADA, использовали программы Microsoft Excel 2019 и Statistica 10.0. Проверку нормальности распределения признака осуществляли с помощью критерия Колмогорова–Смирнова. Для данных, соответствующих закону о нормальном распределении, рассчитывали среднее арифметическое (M) и стандартное отклонение (σ). Результаты всех тестов считали статистически значимыми при значении ниже критического ($p \leq 0,05$). Влияние предикторов риска изучали по их зависимости от возникновения послеоперационных осложнений, сравнение проводили с помощью вычисления коэффициента корреляции Пирсона.

Результаты

В результате одномоментной коррекции у всех пациентов (n=42) отсутствовали 30-дневные коронарные осложнения. Со стороны сосудисто-мозгового бассейна у 2 (4,8%) пациентов развилось ОНМК по типу ишемического инсульта: у одного — в контралатеральном бассейне; у второго развился тромбоз

ВСА на эпилатеральной стороне, выполнена тромб-эндартерэктомия с регрессом неврологической симптоматики. Летальный исход был у 1 (2,4%) больного по причине послеоперационного желудочно-кишечного кровотечения. Также у пациентов возникли неспецифические осложнения, связанные с имеющейся у них сопутствующей патологией, особенностями анестезиологических пособий, развитием реперфузионного повреждения, электролитными и метаболическими нарушениями, использованием тонической поддержки, нестабильностью гемодинамики в условиях ИК: у 2 (4,8%) человек — экссудативный плеврит; у 4 (9,5%) — аритмии (пароксизмальная наджелудочковая тахикардия, в частности фибрилляция предсердий); у 1 (2,4%) — пневмония.

Данные корреляционного исследования (рис. 1) демонстрируют значимость предикторов риска развития сердечно-сосудистых осложнений. Пережатие ВСА имеет среднюю положительную корреляционную

связь. Слабую положительную корреляционную связь показали поражение ЛКА, трехсосудистое поражение и протяженность атеросклеротической бляшки ВСА. С уменьшением систолического АД увеличивается риск послеоперационных осложнений — отрицательная слабая связь.

Наиболее значимыми предикторами риска, имеющими очень высокую корреляционную связь, являются особенности виллизиева круга (ВК). Разобщенный ВК увеличивает число послеоперационных осложнений — положительная связь, а замкнутый ВК, наоборот, имеет склонность к уменьшению риска послеоперационных осложнений — отрицательная связь.

Значения характеристик на всех трех выборках, рассчитанных на основе данных 41 пациента, хорошие, предполагаемая точность — 92%. Так, на обучающей выборке MCC и AUC достаточно высокие, TPR (recall) равен 0,75; PPV (precision) — 1 (рис. 2). Это можно интерпретировать следующим образом:

модель фактически не делает ошибок первого рода, т.е. не бьет ложную тревогу (если модель предсказала осложнения — со 100% вероятностью так оно и есть). С другой стороны, есть небольшая вероятность того, что модель могла пропустить сложный случай и предсказать благоприятный исход, но на деле осложнения все равно возникнут.

На тестовой и валидационной выборках модель совершила по одной ошибке второго рода — предсказала отсутствие осложнения, но оно возникло.

Большая часть параметров была исключена как менее значимые на первом этапе обработки данных. Наиболее значимыми модель посчитала следующие предикторы (в порядке убывания): время пережатия ВСА в минутах (51,24%); поражение ствола ЛКА (30,42%);

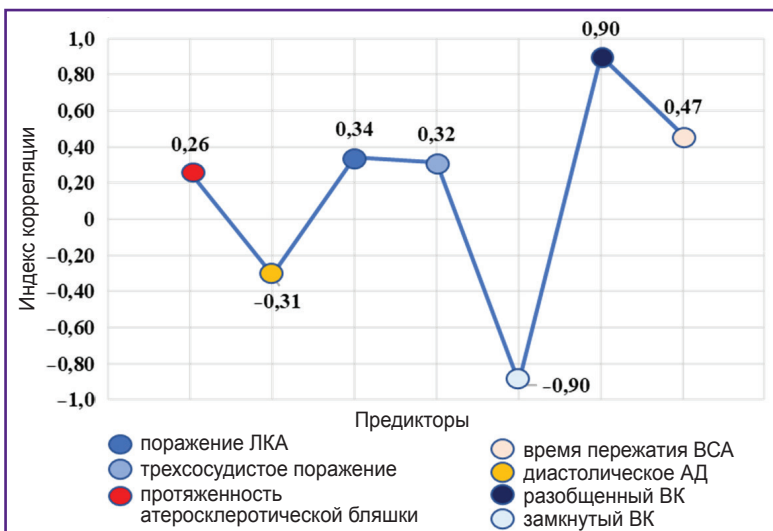


Рис. 1. Предикторы риска послеоперационных осложнений

Scope	Sample Count	ACC ?	MCC ?	AUC ?	TPR ?	TNR ?	PPV ?	F1 ?
Training	16	0.8125	0.5449	0.8542	0.75	0.8333	0.6	0.6667
Validation	12	0.9167	0.7746	0.963	0.6667	1	1	0.8
Test	13	0.9231	0.8216	0.9444	0.75	1	1	0.8571

Рис. 2. Значения характеристик для трех выборок (по данным 41 пациента)

Здесь: score — выборка; sample count — количество пациентов в выборке; ACC — точность предсказания; MCC — коэффициент корреляции Мэтьюза; AUC — площадь под кривой; TPR — отношение числа верно оцененных положительных исходов к общему числу положительных исходов; TNR — отношение числа верно оцененных отрицательных исходов к общему числу отрицательных исходов; PPV — отношение числа верно оцененных положительных исходов к общему числу объектов, которые были помечены моделью как положительные; F1 — вероятность

диастолическое АД (18,28%) (рис. 3).

На графиках (рис. 4) показана степень надежности предсказания в зависимости от значения предиктора риска. При времени пережатия ВСА меньше 18 мин осложнений в принципе не будет, а при значении больше 46 мин осложнения практически неизбежны (рис. 4, а).

С увеличением степени поражения ствола ЛКА вероятность осложнений возрастает нелинейно (рис. 4, б). Так, по нашим данным, вероятность получить послеоперационные осложнения при 60% поражении ствола ЛКА больше, чем если значение данного параметра будет 75%. При этом при достижении стеноза 90% вероятность вновь возрастает, как при 60%.

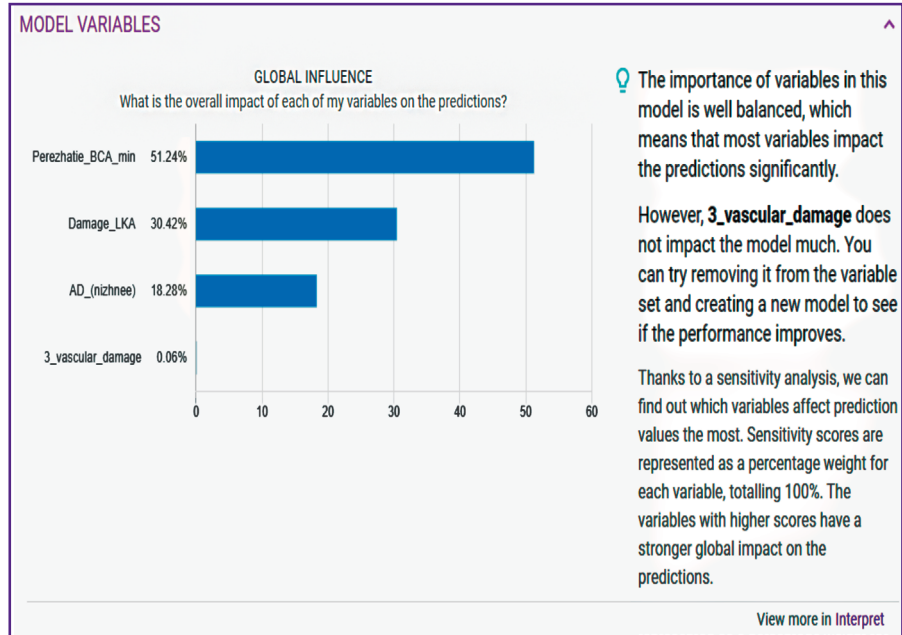


Рис. 3. Наиболее значимые предикторы риска развития послеоперационных осложнений

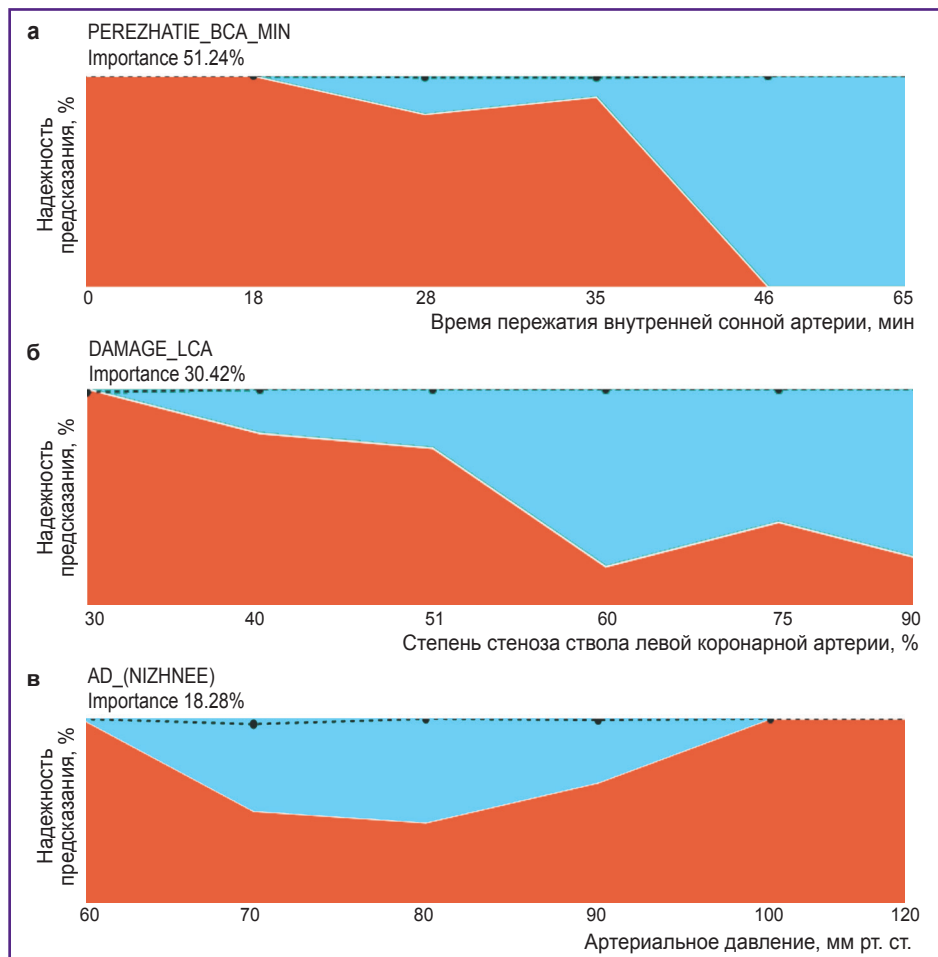


Рис. 4. Степень надежности предсказания в зависимости от: а — времени пережатия внутренней сонной артерии; б — поражения ствола левой коронарной артерии; в — артериальной гипертензии. Область, закрашенная голубым цветом, означает наличие осложнений, красным — их отсутствие

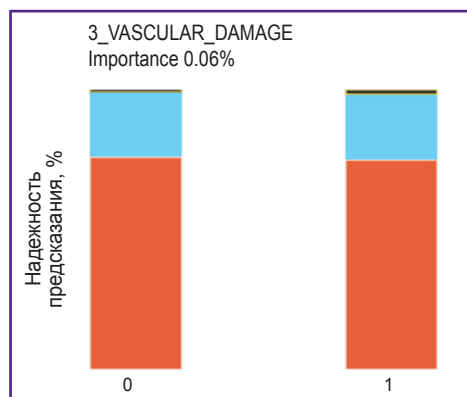


Рис. 5. Трехсосудистое поражение коронарных артерий — незначимый признак в зависимости от отсутствия (0) или наличия (1) данного параметра
Область, закрашенная голубым, означает наличие осложнений, красным — их отсутствие

Высокое диастолическое АД практически никогда не совпадает с наличием осложнений, как и низкое. Наиболее велика вероятность осложнений при значении от 70 до 80 мм рт. ст. (рис. 4, в).

В группе пациентов, у которых в послеоперационном периоде развились осложнения, диастолическое АД находилось в пределах 80–85 мм рт. ст. Скорее всего, это связано с наличием у пациентов этой группы изолированной АГ с односторонним увеличением систолического АД.

У пациентов с трехсосудистым поражением КА наблюдалась репрезентативная картина незначимого признака (рис. 5). Независимо от того, есть данный параметр или нет, более точно предсказать наличие осложнений не получится — ситуации практически идентичны в обоих случаях.

Обсуждение

В нашем исследовании пациенты имели ряд клинико-анатомических особенностей. Так, для этой категории больных характерна высокая частота (56,10%) двусторонних и множественных поражений брахиоцефальных артерий. Отмечена более тяжелая клинико-ангиографическая картина поражения коронарного русла по сравнению с другими случаями ИБС, большая частота вовлечения в процесс многососудистого поражения КА и ствола ЛКА. Обращают на себя внимание более тяжелые клинические проявления ИБС, связанные с нестабильной стенокардией, низкой сократительной способностью миокарда. Вместе с тем при значительном снижении резерва коронарного кровообращения и кровотока по брахиоцефальным артериям предпочтительно одномоментное выполнение хирургического вмешательства на двух бассейнах, хотя оно сопряжено с повышенным риском осложнений. Прогнозирование риска осложнений становится все более важным в принятии клинических решений у

этой категории пациентов. Частично данная проблема решается внедрением шкал риска, наглядным примером которых в кардиологии и сердечно-сосудистой хирургии являются SCORE, TIMI, CRUSADE, GRACE и т.д. [10, 11].

Предикторы риска, ассоциированные с развитием послеоперационных осложнений, установленные в ходе статистического анализа данных, совпали с результатами, полученными при обработке данных искусственным интеллектом.

А. Meurer с соавт. [12] продемонстрировали возможность применения методов глубокого машинного обучения для прогнозирования серьезных осложнений во время интенсивной терапии в режиме реального времени после кардиохирургического вмешательства на открытом сердце. При анализе данных 9269 пациентов показано, что диагностическая и прогностическая модель, основанная на алгоритме машинного обучения, в состоянии улучшить прогноз абсолютного осложнения на 29% для кровотечений, на 24% для смертности и почечной недостаточности по сравнению с клиническими эталонными инструментами.

Наличие в исходах кардиохирургических вмешательств ишемического инсульта, по всей видимости, связано с рядом факторов. При длительном пережатии ВСА увеличивается риск возникновения послеоперационных осложнений, поскольку развивается церебральная ишемия. Канюляция атеросклеротически измененной восходящей аорты может привести к эмболии церебральных сосудов. Длительность ИК повышает риск развития инсульта у пациентов с разобщенным ВК и двусторонним поражением СА, у которых не происходит достаточной компенсации коллатерального кровообращения в период искусственной перфузии. В качествеотягощающего фактора может быть рассмотрен подход к хирургической коррекции каротидной болезни. У 2 (4,8%) больных в нашем исследовании диагностирована окклюзия контралатеральной ВСА. Окклюзия контралатеральной ВСА является четко установленным предиктором 30-дневного риска развития инсульта или летального исхода у пациентов, перенесших КЭ [13].

Развитие послеоперационных неспецифических осложнений (нарушение ритма сердца, пневмонии, экссудативные плевриты), по всей видимости, связано с ишемическими и реперфузионными повреждениями во время ИК. Полученные нами данные согласуются с результатами ранее выполненных исследований [14, 15].

Полученные данные о предикторах риска могут быть полезны для первичного отбора пациентов на кардиохирургические операции. Применение искусственного интеллекта в сердечно-сосудистой практике существенно поможет врачам на мультидисциплинарном консилиуме определиться с тактикой хирургического лечения пациента. Однако не стоит исключать роль естественного интеллекта в оценке клинико-соматического статуса пациента для установления по-

казаний к одномоментным операциям в каждой отдельной ситуации.

Ограничение исследования. Для определения вероятности возникновения того или иного нежелательного события выборка слишком мала. Необходимо дальнейшее накопление клинического материала для подтверждения целесообразности использования прогностической модели.

Заключение

Наиболее значимыми предикторами риска сочетанных операций на коронарных и сонных артериях оказались время пережатия внутренней сонной артерии, поражение ствола левой коронарной артерии, разобщенный виллизиев круг.

Использование искусственного интеллекта для определения предикторов риска у пациентов с сопутствующим поражением коронарных и сонных артерий является эффективным методом прогнозирования рисков одномоментных кардиохирургических вмешательств у пациентов с мультифокальным атеросклерозом.

Финансирование исследования. Работа не финансировалась никакими источниками.

Конфликт интересов отсутствует.

Литература/References

- Chan J.S.K., Shafi A.M.A., Grafton-Clarke C., Singh S., Harky A. Concomitant severe carotid and coronary artery diseases: a separate management or concomitant approach. *J Card Surg* 2019; 34(9): 803–813, <https://doi.org/10.1111/jocs.14145>.
- Dali D.C., Jhamb S., Powell C.S., Akhter S.A. Combined surgical treatment of symptomatic carotid, coronary and mesenteric occlusive disease. *J Surg Case Rep* 2020; 2: rjz392, <https://doi.org/10.1093/jscr/rjz392>.
- Sharma V., Deo S.V., Park S.J., Joyce L.D. Meta-analysis of staged versus combined carotid endarterectomy and coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 2014; 97(1): 102–109, <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2013.07.091>.
- Paraskevas K.I., Nduwayo S., Saratzis A.N., Naylor A.R. Carotid stenting prior to coronary bypass surgery: an updated systematic review and meta-analysis. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2017; 53(3): 309–319, <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2016.12.019>.
- Kassaian S.E., Abbasi K., Hakki Kazazi E., Soltanzadeh A., Alidoosti M., Karimi A., Shirani S., Salarifar M., Ahmadi S.H., Hajizeinali A.M., Razmjoo K. Staged carotid artery stenting and coronary artery bypass surgery versus isolated coronary artery bypass surgery in concomitant coronary and carotid disease. *J Invasive Cardiol* 2013; 25(1): 8–12.
- Xu R., Zhang J., Ye Z., Liu P. Early results of simultaneous carotid endarterectomy and off-pump coronary artery bypass grafting: experience from a single center. *J Xiangya Med* 2017; 2(11): 2–7, <https://doi.org/10.21037/jxym.2017.10.03>.
- Телепнева М.Л., Иванов Л.Н., Логинов О.Е., Чеботарь Е.В., Катывнов В.В. Опыт применения шкалы стратификации операционного риска у пациентов с каротидной болезнью. *Практическая медицина* 2016; 3: 125–128.
- Telepneva M.L., Ivanov L.N., Loginov O.E., Chebotar E.V., Katynov V.V. Experience in application of the scale of stratification of surgical risk in patients with the carotid disease. *Prakticeskaa medicina* 2016; 3: 125–128.
- Tirilomis T., Zenker D., Stojanovic T., Malliarou S., Schoendube F.A. Risk and outcome after simultaneous carotid surgery and cardiac surgery: single centre experience. *Int J Vasc Med* 2018; 2018: 7205903, <https://doi.org/10.1155/2018/7205903>.
- Ničovský J., Ondrášek J., Piler P., Wágner R., Ostřížek T., Horváth V., Němec P. Simultaneous coronary and carotid revascularization. *Cor et Vasa* 2016; 58(2): e234–e237, <https://doi.org/10.1016/j.crvasa.2016.01.005>.
- Studziński K., Tomasik T., Krzyszoń J., Józwiak J., Windak A. Effect of using cardiovascular risk scoring in routine risk assessment in primary prevention of cardiovascular disease: protocol for an overview of systematic reviews. *BMJ Open* 2017; 7(3): e014206, <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-014206>.
- Garg N., Muduli S.K., Kapoor A., Tewari S., Kumar S., Khanna R., Goel P.K. Comparison of different cardiovascular risk score calculators for cardiovascular risk prediction and guideline recommended statin uses. *Indian Heart J* 2017; 69(4): 458–463, <https://doi.org/10.1016/j.ihj.2017.01.015>.
- Meyer A., Zverinski D., Pfahringer B., Kempfert J., Kuehne T., Sündermann S.H., Stamm C., Hofmann T., Falk V., Eickhoff C. Machine learning for real-time prediction of complications in critical care: a retrospective study. *Lancet Respir Med* 2018; 6(12): 905–914, [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(18\)30300-x](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(18)30300-x).
- Telepneva M.L., Loginov O.E., Chebotar E.V., Katinov V.V., Ivanov L.N. A therapeutic approach to surgical treatment of patients with contralateral occlusion of the internal carotid artery. *Sovremennye tehnologii v medicine* 2016; 8(4): 322–325.
- Заболотских И.Б., Лебединский К.М., Потиевская В.И., Баутин А.Е., Еременко А.А., Алексеева Ю.М., Дорогинин С.В. Периоперационное ведение пациентов с желудочковыми тахикардиями. *Анестезиология и реаниматология* 2020; 6: 6–22, <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology20200616>.
- Zabolotskikh I.B., Lebedinskii K.M., Potievskaya V.I., Bautin A.E., Eremenko A.A., Alekseeva Yu.M., Doroginin S.V. Perioperative management of patients with ventricular tachycardia. *Anesteziologia i reanimatologia* 2020; 6: 6–22, <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology20200616>.
- Ronsoni R. de M., Luz Leiria T.L., Silvestrini T.L., Martins L.P., Kruse M.L., Gomes da Silva R., Glotz de Lima G. Prevention of atrial fibrillation after cardiac surgery. *J Card Arrhythm* 2018; 31(2): 38–44.