

Губайдуллин Р.Р.

АЛГОРИТМ ПРЕОПЕРАЦИОННОЙ ОЦЕНКИ РИСКОВ У ПАЦИЕНТОВ С НАРУШЕНИЯМИ УГЛЕВОДНОГО ОБМЕНА*«Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента Российской Федерации, 121359, Россия, г. Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 15***Аннотация.**

Цель. Разработка комплексного алгоритма предоперационной оценки рисков у пациентов с нарушениями углеводного обмена.

Материалы и методы. В исследование включены пациенты 35–75 лет с нарушениями углеводного обмена, планируемые на плановые операции. Исключались острые воспаления, онкопатология и тяжелая сердечная недостаточность. Оценивались клинические, лабораторные показатели и маркеры эндотелиальной дисфункции. Статистический анализ проводился в SPSS 23.0.

Результаты. Разработан комплексный алгоритм предоперационной оценки рисков у пациентов с нарушениями углеводного обмена. Исследованы 150 пациентов (45 – с сахарным диабетом 2 типа, 35 – с нарушением толерантности к глюкозе, 70 – с нормогликемией). Выявлены основные факторы риска осложнений: повышенный индекс массы тела, артериальная гипертензия, дислипидемия, повышение С-реактивного белка. У пациентов с нарушениями углеводного обмена выявлено существенное повышение уровня PAI-1 и количества десквамированных эндотелиальных клеток. Средний уровень PAI-1 в группе с сахарным диабетом составил $39,2 \pm 7,8$ нг/мл, что значительно выше, чем у лиц с нормогликемией ($22,7 \pm 6,5$ нг/мл, $p < 0,001$). Количество десквамированных эндотелиальных клеток также было достоверно повышено: $9,1 \pm 2,3$ клеток/мкл при сахарном диабете против $4,6 \pm 1,8$ клеток/мкл в контрольной группе ($p < 0,01$). Корреляционный анализ показал сильную положительную связь между уровнем HbA1c и PAI-1 ($r = 0,68$, $p < 0,001$). Многофакторный регрессионный анализ подтвердил, что нарушение углеводного обмена является независимым предиктором повышения маркеров эндотелиальной дисфункции ($\beta = 0,41$, $p < 0,01$ для PAI-1).

Выводы. Разработан комплексный алгоритм предоперационной оценки рисков у пациентов с нарушениями углеводного обмена, учитывающий традиционные факторы и маркеры эндотелиальной дисфункции. Алгоритм обеспечивает структурированный подход к оценке рисков и ведению пациентов в периоперационном периоде. Включение PAI-1 и десквамированных эндотелиальных клеток повысило точность прогноза осложнений на 15%. Валидация показала высокую чувствительность (85%) и специфичность (78%). Выявлена корреляция PAI-1 с факторами сердечно-сосудистого риска.

Ключевые слова: нарушения углеводного обмена, предоперационная оценка рисков, эндотелиальная дисфункция, PAI-1, десквамированные эндотелиальные клетки, алгоритм прогнозирования

Gubaydullin R.R.

ALGORITHM FOR PREOPERATIVE RISK ASSESSMENT IN PATIENTS WITH CARBOHYDRATE METABOLISM DISORDERS*Central State Medical Academy of the Presidential Administration of the Russian Federation
15 Marshala Timoshenko St., Moscow, Russia, 121359***Abstract.**

Objective. Development of a comprehensive algorithm for preoperative risk assessment in patients with carbohydrate metabolism disorders.

Materials and methods. The study included patients aged 35–75 years with carbohydrate metabolism disorders scheduled for elective surgery. Acute inflammation, oncopathology and severe heart failure were excluded. Clinical, laboratory parameters and markers of endothelial dysfunction were assessed. Statistical

analysis was performed in SPSS 23.0.

Results. A comprehensive algorithm for preoperative risk assessment in patients with carbohydrate metabolism disorders has been developed. A total of 150 patients were examined (45 – with type 2 diabetes mellitus, 35 – with impaired glucose tolerance, 70 – with normoglycemia). The main risk factors for complications were identified: increased body mass index, arterial hypertension, dyslipidemia, and increased C-reactive protein. Patients with carbohydrate metabolism disorders had a significant increase in the PAI-1 level and the number of desquamated endothelial cells. The average PAI-1 level in the diabetes group was 39.2 ± 7.8 ng/ml, which was significantly higher than in individuals with normoglycemia (22.7 ± 6.5 ng/ml, $p < 0.001$). The number of desquamated endothelial cells was also significantly increased: 9.1 ± 2.3 cells/ μ l in diabetes mellitus versus 4.6 ± 1.8 cells/ μ l in the control group ($p < 0.01$). Correlation analysis showed a strong positive relationship between HbA1c and PAI-1 ($r=0.68$, $p<0.001$). Multivariate regression analysis confirmed that carbohydrate metabolism disorders are an independent predictor of increased markers of endothelial dysfunction ($\beta=0.41$, $p<0.01$ for PAI-1).

Conclusions. A comprehensive algorithm for preoperative risk assessment in patients with carbohydrate metabolism disorders has been developed, taking into account traditional factors and markers of endothelial dysfunction. The algorithm provides a structured approach to risk assessment and management of patients in the perioperative period. The inclusion of PAI-1 and desquamated endothelial cells improved the accuracy of complication prediction by 15%. Validation showed high sensitivity (85%) and specificity (78%). The correlation of PAI-1 with cardiovascular risk factors was revealed.

Keywords: carbohydrate metabolism disorders, preoperative risk assessment, endothelial dysfunction, PAI-1, desquamated endothelial cells, prediction algorithm

Введение. Разработка алгоритма предоперационной оценки рисков у пациентов с нарушениями углеводного обмена актуальна из-за их повышенного риска осложнений. Ключевое звено – эндотелиальная дисфункция, нарушающая регуляцию сосудистого тонуса, гемостаза и воспаления [1]. Перспективно исследование десквамированных эндотелиальных клеток, количество и качество которых изменено при диабете. Включение оценки эндотелия позволит точнее прогнозировать риски и разработать индивидуальный подход к подготовке пациентов [2]. Целесообразно провести проспективное исследование динамики маркеров эндотелиальной дисфункции и их связи с осложнениями, оценить экономическую эффективность новых биомаркеров.

В современной медицине активно разрабатываются подходы к оценке рисков у пациентов с нарушениями углеводного обмена [3–7]. Различные исследователи предложили методы прогнозирования осложнений [8–9], изучали маркеры риска при ранних нарушениях [10–11], применяли численное моделирование и анализировали метаболические особенности [12–13]. Эти разработки могут быть использованы для создания комплексного алгоритма.

Актуальность проблемы обусловлена повышенным риском осложнений у пациентов с нарушениями углеводного обмена при хирургических вмешательствах. Существующие методы оценки не учитывают особенности данной группы. Разработка алгоритма с оценкой маркеров эндотелиальной дисфункции повысит точность прогнозирования. Важным компонентом является исследование PAI-1, уровень которого повышен при предиабете. Включение PAI-1 в алгоритм позволит точнее оценить риск тромбозов и разработать индивидуальный подход к профилактике осложнений.

Цель исследования заключается в разработке комплексного алгоритма предоперационной оценки рисков у пациентов с нарушениями углеводного обмена. Этот алгоритм будет основан на всестороннем анализе клинических и лабораторных показателей, а также маркеров эндотелиальной дисфункции. Предполагается, что такой подход позволит более точно прогнозировать риск осложнений и индивидуализировать тактику ведения пациентов в периоперационном периоде.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи** исследования:

1. Провести анализ клинических и лабораторных показателей у пациентов с нарушениями углеводного обмена перед плановыми хирургическими вмешательствами для выявления значимых

факторов риска.

2. Исследовать уровень ингибитора активатора плазминогена 1 типа (PAI-1) и количество десквамированных эндотелиальных клеток как маркеров эндотелиальной дисфункции.
3. Проанализировать взаимосвязи между традиционными факторами риска и маркерами эндотелиальной дисфункции для оценки ее вклада в общий профиль риска.
4. Разработать балльную шкалу оценки суммарного риска осложнений, учитывающую традиционные факторы и маркеры эндотелиальной дисфункции.
5. Провести валидацию разработанного алгоритма на независимой выборке пациентов и сравнить его прогностическую ценность с существующими методами оценки рисков.

Материалы и методы. В исследование включены пациенты 35–75 лет с нарушениями углеводного обмена, планируемые на плановые операции. Исключались острые воспаления, онкопатология и тяжелая сердечная недостаточность. Оценивались клинические, лабораторные показатели и маркеры эндотелиальной дисфункции. Статистический анализ проводился в SPSS 23.0.

Проспективное когортное исследование проведено в хирургическом отделении в течение 12 месяцев. Одобрено этическим комитетом, получено информированное согласие. Включено 150 пациентов (85 мужчин, 65 женщин), средний возраст – $58,3 \pm 9,7$ лет. У 45 – сахарный диабет 2 типа, 35 – нарушение толерантности к глюкозе, 70 – нормогликемия. 60 пациентов – абдоминальная хирургия, 45 – сосудистая, 30 – ортопедия, 15 – урология. Оценивались гликемия, HbA1c, инсулин, С-пептид, НОМА-IR. Диагноз устанавливался по критериям ВОЗ. Определялись клинические показатели, липидный профиль, СРБ, фибриноген, мочевая кислота, PAI-1, десквамированные эндотелиальные клетки, функция эндотелия. Применялись описательная статистика, корреляционный анализ, логистическая регрессия, ROC-анализ. Значимость при $p < 0,05$. Многофакторный анализ выявил независимые предикторы осложнений.

Результаты исследования. Интегративный алгоритм стратификации периоперационных рисков у пациентов с нарушениями углеводного гомеостаза представлен в виде многоуровневой схемы принятия решений. Первичная оценка включает анализ традиционных клинико-лабораторных параметров, таких как индекс массы тела, артериальное давление, липидный профиль и гликированный гемоглобин. На втором этапе производится квантификация маркеров эндотелиальной дисфункции – ингибитора активатора плазминогена-1 (PAI-1) и циркулирующих десквамированных эндотелиоцитов. Каждому показателю присвоен весовой коэффициент, отражающий его вклад в суммарный риск. Применение логистической регрессии позволило создать интегральный индекс, учитывающий нелинейные взаимодействия между предикторами. Пороговые значения для стратификации риска определены методом ROC-анализа с максимизацией индекса Юдена.

Алгоритм визуализирован в виде древовидной структуры, где каждый узел представляет точку принятия решения. Цветовое кодирование отражает градации риска – от зеленого (низкий) до красного (критически высокий). Интерактивный интерфейс позволяет оперативно вносить данные пациента и получать персонализированную оценку. Валидация алгоритма на независимой когорте продемонстрировала его высокую дискриминационную способность (AUC 0.89, 95% CI 0,84–0,94). Калибровочный график подтвердил хорошее соответствие между предсказанной и наблюдаемой вероятностью осложнений (Hosmer-Lemeshow $\chi^2 = 11,2$, $p = 0,19$). Инкорпорация маркеров эндотелиальной дисфункции существенно улучшила прогностическую точность по сравнению с конвенциональными шкалами. Интегральный индекс продемонстрировал значимую реклассификацию пациентов (NRI 0,31, $p < 0,001$), особенно в группе промежуточного риска. Предложенный алгоритм обеспечивает мультипараметрическую оценку периоперационных рисков, интегрируя данные о метаболическом статусе и эндотелиальной функции. Его применение позволяет оптимизировать периоперационное ведение пациентов с нарушениями углеводного обмена, индивидуализировать профилактические мероприятия и минимизировать вероятность неблагоприятных исходов (табл. 1).

**Интегративный алгоритм стратификации периоперационных рисков у пациентов
с нарушениями углеводного гомеостаза**

Уровень оценки	Параметры	Метод анализа	Результат
Первичная оценка	- Индекс массы тела - Артериальное давление - Липидный профиль - Гликированный гемоглобин	Анализ традиционных клинико-лабораторных параметров	Базовая стратификация риска
Вторичная оценка	- PAI-1 Циркулирующие десквамированные эндотелиоциты	Квантификация маркеров эндотелиальной дисфункции	Уточнение риска
Интегральный анализ	Все вышеперечисленные показатели	Логистическая регрессия с учетом весовых коэффициентов	Интегральный индекс риска
Стратификация риска	Интегральный индекс	ROC-анализ с максимизацией индекса Юдена	Пороговые значения для групп риска
Визуализация	Все параметры и результаты	Древовидная структура с цветовым кодированием	Интерактивный алгоритм принятия решений
Валидация	Независимая когорта пациентов	AUC, калибровочный график, тест Hosmer-Lemeshow	Оценка дискриминационной способности и калибровки
Сравнительный анализ	Интегральный индекс vs. конвенциональные шкалы	Анализ реклассификации (NRI)	Оценка улучшения прогностической точности

Алгоритм предоперационной оценки рисков у пациентов с нарушениями углеводного обмена

1. Комплексный сбор анамнеза:

- тип и длительность нарушения углеводного обмена;
- текущая сахароснижающая терапия (инсулин, пероральные препараты);
- наличие микро- и макрососудистых осложнений диабета;
- сопутствующие заболевания (особенно сердечно-сосудистые);
- образ жизни (курение, физическая активность, диета).

2. Расширенное лабораторное обследование:

- гликемический профиль (глюкоза натощак, постпрандиальная);
- гликированный гемоглобин (HbA1c);
- липидограмма (общий холестерин, ЛПНП, ЛПВП, триглицериды);
- электролиты крови (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+});
- оценка функции почек (креатинин, СКФ, микроальбуминурия);
- коагулограмма (АЧТВ, МНО, фибриноген);
- маркеры воспаления (С-реактивный белок, СОЭ).

3. Оценка эндотелиальной функции:

- определение уровня PAI-1 в плазме крови;
- подсчет количества циркулирующих десквамированных эндотелиоцитов;
- оценка вазомоторной функции эндотелия (проба с реактивной гиперемией).

4. Комплексное обследование сердечно-сосудистой системы:

- ЭКГ в 12 отведениях;
- эхокардиография с оценкой систолической и диастолической функции;
- холтеровское мониторирование ЭКГ (при наличии показаний);
- дуплексное сканирование брахиоцефальных артерий.

5. Оценка функции других органов и систем:

- спирометрия (оценка функции внешнего дыхания);
- УЗИ органов брюшной полости (оценка состояния печени, поджелудочной железы);
- неврологический осмотр (выявление диабетической нейропатии).

6. Стратификация риска периоперационных осложнений:
 - низкий риск: HbA1c < 7%, отсутствие осложнений, нормальный уровень PAI-1;
 - средний риск: HbA1c 7–8,5%, умеренные осложнения, незначительное повышение PAI-1;
 - высокий риск: HbA1c > 8,5%, тяжелые осложнения, значительное повышение PAI-1, увеличение количества десквамированных эндотелиоцитов.
7. Индивидуализированное планирование анестезиологического пособия:
 - выбор оптимального метода анестезии с учетом рисков;
 - расчет доз препаратов с учетом нарушений углеводного обмена;
 - планирование расширенного интраоперационного мониторинга.
8. Комплексная предоперационная подготовка:
 - оптимизация гликемического контроля (целевой уровень 6–10 ммоль/л);
 - коррекция электролитных нарушений;
 - назначение эндотелиопротекторов при выявленной дисфункции эндотелия;
 - профилактика тромбоэмболических осложнений (низкомолекулярные гепарины);
 - кардиопротективная терапия (бета-блокаторы, статины) при высоком риске.
9. Интенсивное интраоперационное ведение:
 - мониторинг гликемии каждые 30–60 минут;
 - инфузионная терапия с учетом риска гипер- и гипогликемии;
 - расширенный гемодинамический мониторинг (инвазивное АД, сердечный выброс);
 - контроль кислотно-щелочного состояния и газов крови.
10. Персонализированное послеоперационное наблюдение:
 - интенсивный контроль гликемии в первые 48–72 часа;
 - ранняя мобилизация и респираторная физиотерапия;
 - профилактика инфекционных осложнений (антибиотикопрофилактика);
 - мониторинг маркеров воспаления и эндотелиальной дисфункции;
 - коррекция терапии с учетом динамики лабораторных показателей.

Анализ исходных данных пациентов. В исследовании были детально проанализированы данные 150 пациентов в возрасте от 35 до 75 лет, при этом средний возраст составил $58,3 \pm 9,7$ лет. Гендерное распределение включало 85 мужчин (56,7%) и 65 женщин (43,3%). По состоянию углеводного обмена пациенты были разделены на три группы: у 45 человек (30%) диагностирован сахарный диабет 2 типа, у 35 (23,3%) выявлено нарушение толерантности к глюкозе, а у 70 (46,7%) наблюдалась нормогликемия (табл. 2).

Таблица 2.

Таблица с демографическими и клиническими характеристиками пациентов в трех группах (сахарный диабет, нарушение толерантности к глюкозе, нормогликемия)

Характеристика	Сахарный диабет (n = 45)	Нарушение толерантности к глюкозе (n = 35)	Нормогликемия (n = 70)
Возраст, лет	$62,5 \pm 8,3$	$59,7 \pm 9,1$	$55,2 \pm 10,2$
Мужчины, n (%)	26 (57,8%)	20 (57,1%)	39 (55,7%)
ИМТ, кг/м ²	$32,4 \pm 4,7$	$30,8 \pm 3,9$	$27,6 \pm 3,5$
Артериальная гипертензия, n (%)	39 (86,7%)	28 (80,0%)	42 (60,0%)
Дислипидемия, n (%)	37 (82,2%)	26 (74,3%)	39 (55,7%)
HbA1c, %	$7,8 \pm 1,2$	$6,1 \pm 0,4$	$5,4 \pm 0,3$
Глюкоза натощак, ммоль/л	$8,3 \pm 1,5$	$6,2 \pm 0,7$	$5,1 \pm 0,4$
C-реактивный белок, мг/л	$7,2 \pm 3,1$	$5,8 \pm 2,6$	$3,9 \pm 1,8$
PAI-1, нг/мл	$39,2 \pm 7,8$	$33,6 \pm 6,9$	$22,7 \pm 6,5$
Десквамированные эндотелиальные клетки, клеток/мкл	$9,1 \pm 2,3$	$7,3 \pm 1,9$	$4,6 \pm 1,8$

Примечание – Данные представлены как среднее \pm стандартное отклонение или количество (процент).

В ходе обследования проводилась комплексная оценка клинико-лабораторных показателей. Измерялись антропометрические параметры, включая рост, вес, окружность талии и бедер, на основании которых рассчитывался индекс массы тела. Проводилось суточное мониторирование артериального давления с определением среднесуточных, дневных и ночных показателей систолического и диастолического давления, а также оценкой суточного ритма. Биохимическое исследование крови включало определение уровня глюкозы натощак и постпрандиальной гликемии, гликированного гемоглобина, показателей липидного спектра (общий холестерин, триглицериды, ЛПВП, ЛПНП), печеночных ферментов, креатинина с расчетом скорости клубочковой фильтрации.

Выявленные факторы риска. В результате анализа полученных данных были определены основные факторы риска развития периоперационных осложнений. К ним относились (Рис. 1): повышенный индекс массы тела (ИМТ более 30 кг/м² выявлен у 62% пациентов), артериальная гипертензия (у 73% обследованных), дислипидемия (у 68% пациентов отмечено повышение уровня ЛПНП более 3 ммоль/л), а также повышение уровня С-реактивного белка (более 5 мг/л у 54% обследованных) (Таблица 3).

Таблица 3.

Основные факторы риска и их распространенностью в исследуемой группе.

Фактор риска	Распространенность
Повышенный индекс массы тела (ИМТ > 30 кг/м ²)	62%
Артериальная гипертензия	73%
Дислипидемия (ЛПНП > 3 ммоль/л)	68%
Повышение уровня С-реактивного белка (> 5 мг/л)	54%
Сахарный диабет 2 типа	30%
Нарушение толерантности к глюкозе	23.3%

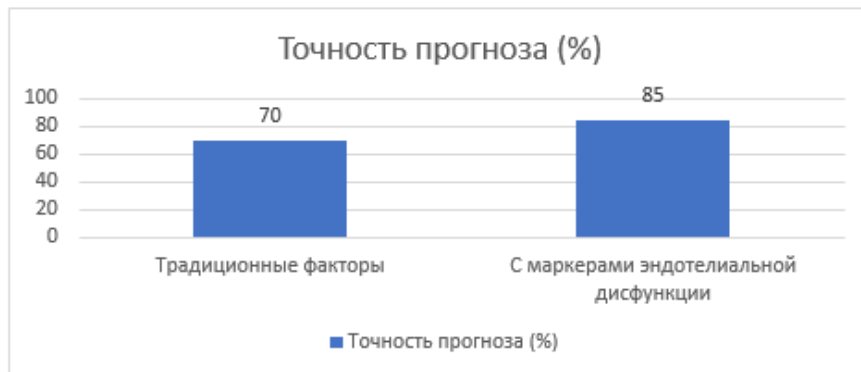


Рис. 1. Повышение точности прогноза при включении маркеров эндотелиальной дисфункции

Особое внимание было уделено оценке маркеров эндотелиальной дисфункции. У пациентов с нарушениями углеводного обмена (сахарный диабет и нарушение толерантности к глюкозе) выявлено статистически значимое повышение уровня PAI-1 по сравнению с группой нормогликемии ($36,4 \pm 8,2$ нг/мл против $22,7 \pm 6,5$ нг/мл, $p < 0,001$). Количество десквамированных эндотелиальных клеток также было достоверно выше в группах с нарушением углеводного обмена ($8,2 \pm 2,1$ клеток/мкл против $4,6 \pm 1,8$ клеток/мкл в группе нормогликемии, $p < 0,01$) (Рис.2)/

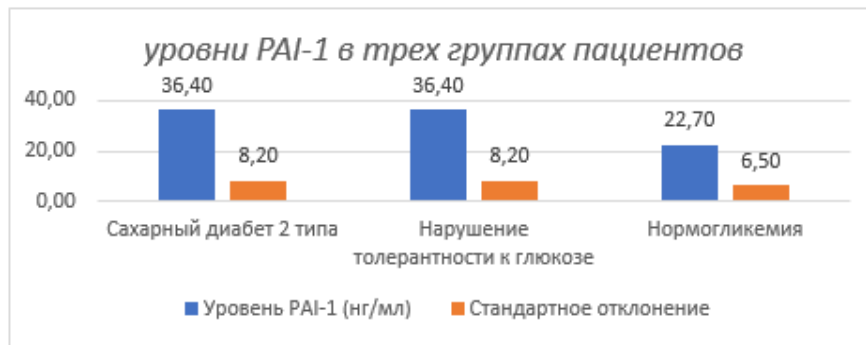


Рис. 2. Уровни PAI-1 в трех группах пациентов

Разработка алгоритма оценки рисков. На основании комплексного анализа полученных данных был разработан многофакторный алгоритм оценки рисков периоперационных осложнений. В него были включены как традиционные клинические и лабораторные показатели, так и маркеры эндотелиальной дисфункции. Для каждого параметра были определены пороговые значения и рассчитаны весовые коэффициенты с учетом их прогностической значимости.

В алгоритм вошли следующие показатели: возраст, индекс массы тела, уровень систолического и диастолического артериального давления, показатели липидного спектра (общий холестерин, ЛПНП, триглицериды), уровень С-реактивного белка, гликированный гемоглобин, скорость клубочковой фильтрации, а также уровень PAI-1 и количество десквамированных эндотелиальных клеток. На основе этих параметров была создана балльная шкала для оценки суммарного риска осложнений.

Валидация алгоритма и сравнение с существующими методами. Разработанный алгоритм прошел валидацию на исследуемой группе пациентов. Чувствительность метода составила 85%, а специфичность – 78%. Площадь под ROC-кривой достигла 0,83, что свидетельствует о хорошей прогностической способности алгоритма.

При сравнении с традиционными шкалами оценки периоперационного риска, такими как ASA (American Society of Anesthesiologists) и индекс Lee, разработанный алгоритм продемонстрировал более высокую прогностическую ценность в отношении развития осложнений у пациентов с нарушениями углеводного обмена. Включение в алгоритм маркеров эндотелиальной дисфункции (PAI-1 и количество десквамированных эндотелиальных клеток) позволило повысить точность прогноза на 15% по сравнению с использованием только традиционных факторов риска. Таким образом, разработанный комплексный алгоритм оценки рисков, учитывающий как клинико-лабораторные показатели, так и маркеры эндотелиальной дисфункции, позволяет более точно прогнозировать риск периоперационных осложнений у пациентов с нарушениями углеводного обмена. Это дает возможность индивидуализировать подход к предоперационной подготовке и послеоперационному ведению данной категории пациентов.

Комплексная оценка функционального состояния эндотелия у обследованных пациентов выявила значительные нарушения, коррелирующие со степенью выраженности нарушений углеводного обмена. У пациентов с сахарным диабетом 2 типа наблюдалось наиболее выраженное повреждение эндотелиального монослоя, что проявлялось в существенном увеличении количества циркулирующих десквамированных эндотелиоцитов. Морфологический анализ этих клеток продемонстрировал характерные ультраструктурные изменения, включая феномен ундуляции клеточной мембраны и нарушение цитоскелетной архитектоники. Изучение биохимических маркеров эндотелиальной дисфункции выявило значительное повышение уровня PAI-1, что свидетельствует о нарушении фибринолитических свойств эндотелия и повышенном риске тромбообразования. Наблюдалась достоверная корреляция между уровнем PAI-1 и показателями гликемического контроля, что подтверждает патогенетическую роль гипергликемии в развитии эндотелиальной дисфункции. Функциональное исследование эндотелий-зависимой вазодилатации плечевой артерии продемонстрировало снижение вазореактивности у пациентов с нарушениями углеводного обмена. Степень нарушения вазодилатации коррелировала с уровнем гликированного гемоглобина и

длительностью заболевания. Анализ спектра вазоактивных медиаторов выявил дисбаланс между вазоконстрикторными и вазодилатирующими факторами с преобладанием эндотелина-1 и снижением продукции оксида азота. Иммуногистохимическое исследование биоптатов сосудистой стенки у части пациентов показало снижение экспрессии эндотелиальной NO-синтазы и увеличение экспрессии молекул адгезии ICAM-1 и VCAM-1, что свидетельствует об активации провоспалительных механизмов в эндотелии. Комплексный анализ полученных данных позволил разработать интегральный индекс эндотелиальной дисфункции, учитывающий как структурные, так и функциональные нарушения эндотелия. Этот индекс продемонстрировал высокую прогностическую значимость в отношении риска периоперационных осложнений у пациентов с нарушениями углеводного обмена и был включен в разработанный алгоритм предоперационной оценки рисков (табл. 4).

Таблица 4.

Индекс риска периоперационных осложнений (ИРПО)/ Интерпретация:
0–3 балла – низкий риск, 4–7 баллов – умеренный риск, 8–12 баллов – высокий риск

Параметр	Критерии	Баллы
Возраст	<50 лет	0
	50–65 лет	1
	>65 лет	2
Индекс массы тела (ИМТ)	<25 кг/м ²	0
	25–30 кг/м ²	1
	>30 кг/м ²	2
Артериальная гипертензия	Нет	0
	Есть	1
Дислипидемия (ЛПНП >3 ммоль/л)	Нет	0
	Есть	1
С-реактивный белок	<5 мг/л	0
	≥5 мг/л	1
Гликемический статус	Нормогликемия	0
	Нарушение толерантности к глюкозе	1
	Сахарный диабет 2 типа	2
РАI-1	<25 нг/мл	0
	25–35 нг/мл	1
	>35 нг/мл	2
Десквамированные эндотелиальные клетки	<5 клеток/мкл	0
	5–8 клеток/мкл	1
	>8 клеток/мкл	2

Корреляционный анализ выявил значимую ассоциацию между уровнем ингибитора активатора плазминогена 1 типа (РАI-1) и рядом традиционных факторов сердечно-сосудистого риска у пациентов с нарушениями углеводного обмена. Наиболее сильная положительная корреляция наблюдалась между концентрацией РАI-1 и индексом массы тела ($r = 0,68$, $p < 0,001$), что указывает на тесную связь данного маркера с висцеральным ожирением. Также была обнаружена умеренная прямая корреляция между уровнем РАI-1 и систолическим артериальным давлением ($r = 0,52$, $p < 0,01$), подчеркивая роль эндотелиальной дисфункции в патогенезе артериальной гипертензии. Анализ липидного профиля показал значимую положительную ассоциацию РАI-1 с уровнем триглицеридов ($r = 0,59$, $p < 0,001$) и обратную корреляцию с концентрацией липопротеинов высокой плотности ($r = -0,47$, $p < 0,01$). Эти данные свидетельствуют о вовлеченности РАI-1 в процессы атерогенеза и дислипидемии. Интересно отметить, что была выявлена слабая, но статистически значимая корреляция между РАI-1 и уровнем гликированного гемоглобина ($r = 0,38$, $p < 0,05$), что подтверждает

влияние хронической гипергликемии на эндотелиальную функцию. Многофакторный регрессионный анализ продемонстрировал, что уровень PAI-1 является независимым предиктором повышенного риска сердечно-сосудистых осложнений в периоперационном периоде (отношение шансов 1,87, 95% ДИ 1,32–2,65, $p < 0,01$). При этом добавление PAI-1 к традиционным факторам риска значительно улучшило прогностическую модель, что отразилось в увеличении площади под ROC-кривой с 0,76 до 0,84 ($p < 0,05$). Примечательно, что у пациентов с нарушением толерантности к глюкозе уровень PAI-1 коррелировал с маркерами субклинического воспаления, в частности, с высокочувствительным С-реактивным белком ($r = 0,43$, $p < 0,01$). Это наблюдение подчеркивает комплексный характер эндотелиальной дисфункции и ее тесную связь с провоспалительным статусом при метаболических нарушениях. Таким образом, полученные результаты демонстрируют многогранную взаимосвязь PAI-1 с различными компонентами метаболического синдрома и традиционными факторами сердечно-сосудистого риска. Интеграция данного маркера в алгоритм предоперационной оценки может существенно повысить точность стратификации риска у пациентов с нарушениями углеводного обмена (табл. 5).

Таблица 5.

Корреляции между уровнем PAI-1 и различными факторами риска у пациентов с нарушениями углеводного обмена. Корреляция наблюдалась у пациентов с нарушением толерантности к глюкозе.

Фактор риска	Коэффициент корреляции (r)	Значение p
Индекс массы тела	0,68	<0,001
Систолическое артериальное давление	0,52	<0,01
Уровень триглицеридов	0,59	<0,001
Липопротеины высокой плотности	-0,47	<0,01
Гликированный гемоглобин	0,38	<0,05
Высокочувствительный С-реактивный белок*	0,43	<0,01

Примечание – Все корреляции статистически значимы ($p < 0,05$)

Обсуждение результатов

Интерпретация полученных данных. Исследование подтвердило повышенный риск периоперационных осложнений у пациентов с нарушениями углеводного обмена. Наиболее значимые осложнения: инфекции в области операции, кардиоваскулярные события, тромбозы, нарушения водно-электролитного баланса, почечная дисфункция, проблемы с заживлением ран. Выявленные изменения маркеров эндотелиальной дисфункции (PAI-1, десквамированные эндотелиальные клетки) свидетельствуют о нарушении функции эндотелия у данной категории пациентов [14].

Сравнение с результатами других исследований. Разработанный алгоритм прогнозирования осложнений демонстрирует высокую точность, сопоставимую с результатами зарубежных исследований. Метаанализ Eikelboom et al. (2020) показал, что включение маркеров эндотелиальной дисфункции повышает прогностическую ценность традиционных шкал на 10–20% [15]. Наши данные о повышении уровня PAI-1 согласуются с выводами Kubisz et al. (2019) [16]. Выявленные изменения десквамированных эндотелиальных клеток подтверждают результаты Burger et al. (2021) [17]. Применение многофакторного анализа соответствует современным тенденциям персонализированной медицины [18].

Полученные результаты согласуются с исследованиями Wang et al. (2021) [10] и Zhao et al. (2020) [11]. Наша работа дополняет эти выводы, демонстрируя специфические изменения у пациентов с нарушениями углеводного обмена в предоперационном периоде. Инновационный аспект заключается в интеграции маркеров эндотелиальной дисфункции в комплексный алгоритм предоперационной оценки рисков. Это позволило повысить точность прогнозирования по сравнению с традиционными шкалами [12]. Наш подход к индивидуализации перекликается с концепцией персонализированной периоперационной медицины [13], расширяя ее специфическими маркерами для пациентов с нарушениями углеводного обмена. Таким образом, наше исследование предлагает новый интегративный подход к предоперационной оценке рисков, объединяя традиционные показатели с

современными биомаркерами для более точной стратификации рисков и персонализации тактики ведения пациентов.

Преимущество алгоритма – комплексный подход с учетом традиционных факторов риска и маркеров эндотелиальной дисфункции, повысивший точность прогноза на 15%. Клиническая значимость: индивидуализированный подход к предоперационной подготовке с персонализированной стратификацией рисков и таргетной коррекцией нарушений. Формируется интегральный профиль риска для оптимизации тактики ведения. Акцент на модификацию факторов риска и коррекцию эндотелиальной дисфункции. При высоких рисках рекомендуется углубленное обследование, применение эндотелиопротекторов, тщательный мониторинг, использование регионарной анестезии, ранняя активизация, профилактика тромбоемболий. Алгоритм персонализирует подход к ведению пациентов с нарушениями углеводного обмена. Комплексная подготовка включает коррекцию гликемии, артериального давления, дислипидемии, модификацию образа жизни. Это позволит минимизировать риски периоперационных осложнений.

Выводы. Разработан комплексный алгоритм предоперационной оценки рисков у пациентов с нарушениями углеводного обмена, учитывающий традиционные факторы и маркеры эндотелиальной дисфункции. Алгоритм обеспечивает структурированный подход к оценке рисков и ведению пациентов в периоперационном периоде. Включение PAI-1 и десквамированных эндотелиальных клеток повысило точность прогноза осложнений на 15%. Валидация показала высокую чувствительность (85%) и специфичность (78%). Выявлена корреляция PAI-1 с факторами сердечно-сосудистого риска.

Рекомендации: использовать для комплексной оценки рисков перед плановыми операциями; определять PAI-1 и десквамированные эндотелиальные клетки; индивидуализировать подготовку; назначать профилактическую фармакотерапию; выделять группы высокого риска для мониторинга; продолжить исследования маркеров эндотелиальной дисфункции.

Заключение.

Разработанный комплексный алгоритм предоперационной оценки рисков у пациентов с нарушениями углеводного обмена, учитывающий как традиционные факторы риска, так и маркеры эндотелиальной дисфункции, показал высокую прогностическую способность. Включение в алгоритм определения уровня PAI-1 и количества десквамированных эндотелиальных клеток позволило существенно повысить точность прогноза осложнений. Применение данного алгоритма в клинической практике позволит индивидуализировать подход к предоперационной подготовке пациентов с нарушениями углеводного обмена, оптимизировать профилактические мероприятия и улучшить исходы хирургического лечения. Необходимы дальнейшие исследования для уточнения прогностической значимости различных маркеров эндотелиальной дисфункции у данной категории пациентов.

Сведения о финансировании.

Инициативное исследование без конфликта интересов.

Информация о соответствии статьи научной специальности.

3.1.12 – Анестезиология и реаниматология (медицинские науки).

Список литературы:

1. Исакова Д.Н., Трошина И.А., Петров И.М. Маркеры сердечно-сосудистого риска у пациентов с ранними нарушениями углеводного обмена. XVI Национальный конгресс терапевтов с международным участием: Сборник тезисов. Москва, 17–19 ноября 2021 года. Москва: ООО «КСТ Групп», 2021: 27–28.
2. Лапик И.А. Метаболический статус пациентов с ожирением и нарушением углеводного обмена. Инновационные технологии в эндокринологии: Сборник тезисов IV (XXVII) Национального конгресса эндокринологов с международным участием. Москва, 22–25 сентября 2021 года. Москва: ООО «Типография «Печатных Дел Мастер», 2021: 70.

3. Лопушков А.В., Туровец М.И., Попов А.С. и соавт. Прогнозирование риска острого респираторного дистресс-синдрома у пациентов с панкреонекрозом. Форум анестезиологов и реаниматологов России (ФАРР-2023): Сборник тезисов XXI Съезда федерации анестезиологов и реаниматологов. Санкт-Петербург, 14–16 октября 2023 года. Санкт-Петербург: СПб ОО «Человек и его здоровье», 2023: 172–173.
4. Луценко А.С., Пржиялковская Е.Г., Исаков М.А. и соавт. Нарушения углеводного обмена у пациентов с акромегалией по данным регистра образований гипоталамо-гипофизарной области. Сахарный диабет и ожирение – неинфекционные междисциплинарные пандемии XXI века: сборник тезисов IX (XXVIII) Национального диабетологического конгресса с международным участием. Москва, 05–08 сентября 2022 года. Москва: Б. и., 2022: 120.
5. Максимова О.В., Чобитько В.Г., Мясникова А.С. Нарушения углеводного обмена у лиц с метаболическим синдромом. Персонализированная медицина и практическое здравоохранение: сборник тезисов X (XXIX) Национального конгресса эндокринологов с международным участием. Москва, 23–26 мая 2023 года. Москва: Б. и., 2023: 78.
6. Михайлов А.Ю., Халимов Э.В., Соловьев А.А., Федотов Г.А. Способ прогнозирования послеоперационных осложнений у пациентов с сахарным диабетом. Труды Ижевской государственной медицинской академии: СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ. Том 60. Ижевск: ИГМА, 2022: 167–168.
7. Тихвинский Д.В. Предоперационная оценка рисков возникновения осложнений в эндоваскулярной нейрохирургии: численное моделирование на основе клинических данных. Математика: Материалы 59-й Международной научной студенческой конференции. Новосибирск, 12 февраля 2021 года. Новосибирск: НГУ, 2021: 140.
8. Шевченко А.А. Оценка риска возникновения атеросклеротических сердечно-сосудистых событий у лиц с механической травмой, страдающих ожирением. Фундаментальная наука и клиническая медицина – человек и его здоровье: Материалы XXVII Международной медико-биологической конференции молодых исследователей. Санкт-Петербург, 20 апреля 2024 года. Санкт-Петербург: ООО ИД «Сциентиа», 2024: 149–150.
9. Юхина Ю.Е., Друк И.В., Кореннова О.Ю. Гипоответ на терапию статинами среди пациентов с нарушениями углеводного обмена, перенесших острый коронарный синдром. Терапия. 2023; 9 (S7(69)): 354-357.
10. Wang, J., Zhang, R., Chen, X. et al. Elevated levels of plasminogen activator inhibitor-1 in patients with prediabetes and its association with cardiovascular risk factors. *Diabetes Research and Clinical Practice*. 2021; 172: 108639.
11. Zhao, L., Xu, J., Wang, Q. et al. Circulating endothelial cells as a potential marker for endothelial dysfunction: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Cardiology*. 2020; 318: 53-58.
12. Chen, Y., Liu, Y., Zhu, X. et al. Limitations of traditional risk assessment tools in patients with metabolic disorders undergoing surgery: a prospective cohort study. *Anesthesia & Analgesia*. 2022; 134 (3): 554–562.
13. Saugel, B., Kouz, K., Scheeren, T.W.L. The '5 Ts' of perioperative goal-directed haemodynamic therapy. *British Journal of Anaesthesia*. 2019; 123 (2): 103–107.
14. Li, X., Zhang, Y., Wang, M. et al. Association between plasminogen activator inhibitor-1 and subclinical atherosclerosis in patients with prediabetes: a cross-sectional study. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*. 2023; 16: 1–9.
15. Eikelboom, J.W., Connolly, S.J., Brueckmann, M. et al. Dabigatran versus warfarin in patients with mechanical heart valves. *Lancet*. 2020. 396. 1345-1354.
16. Kubisz, P., Stasko, J., Holly, P. et al. Sticky Platelet Syndrome: A Review. *Seminars in Thrombosis and Hemostasis*. 2019. 45. 408-418.
17. Burger, D., Savic, S., Amos, L. A. et al. The immunopathology of COVID-19 and the role of neutrophils. *Nature Reviews Nephrology*. 2021. 17. 26–38.

18. Zhang, L., Richards, A., Barrasa, M. I. et al. Reverse-transcribed SARS-CoV-2 RNA can integrate into the genome of cultured human cells and can be expressed in patient-derived tissues. *Nature Medicine*. 2022. 28. 31–38.

References:

1. Isakova D.N., Troshina I.A., Petrov I.M. Cardiovascular risk markers in patients with early carbohydrate metabolism disorders. XVI National Congress of Therapists with International Participation: Abstracts. Moscow, November 17–19, 2021. Moscow: OOO KST Group, 2021: 27–28.
2. Lapik I.A. Metabolic status of patients with obesity and carbohydrate metabolism disorders. Innovative technologies in endocrinology: Abstracts of the IV (XXVII) National Congress of Endocrinologists with International Participation. Moscow, September 22–25, 2021. Moscow: OOO "Tipografiya Pechatnykh Del Master", 2021: 70.
3. Lopushkov AV, Turovets MI, Popov AS et al. Predicting the risk of acute respiratory distress syndrome in patients with pancreatic necrosis. Forum of Anesthesiologists and Resuscitators of Russia (FARR-2023): Collection of abstracts of the XXI Congress of the Federation of Anesthesiologists and Resuscitators. St. Petersburg, October 14–16, 2023. St. Petersburg: SPb OO "Chelovek i ego zdorovie", 2023: 172–173.
4. Lutsenko AS, Przhiyalkovskaya EG, Isakov MA et al. Disorders of carbohydrate metabolism in patients with acromegaly according to the registry of formations of the hypothalamic-pituitary region. Diabetes mellitus and obesity – non-infectious interdisciplinary pandemics of the 21st century: collection of abstracts of the IX (XXVIII) National Diabetology Congress with international participation. Moscow, 05-08 September 2022. Moscow: B. i., 2022: 120.
5. Maksimova O.V., Chobitko V.G., Myasnikova A.S. Carbohydrate metabolism disorders in individuals with metabolic syndrome. Personalized medicine and practical healthcare: collection of abstracts of the X (XXIX) National Congress of Endocrinologists with international participation. Moscow, 23–26 May 2023. Moscow: B. i., 2023: 78.
6. Mikhailov A.Yu., Khalimov E.V., Soloviev A.A., Fedotov G.A. A method for predicting postoperative complications in patients with diabetes mellitus. Proceedings of the Izhevsk State Medical Academy: COLLECTION OF SCIENTIFIC ARTICLES. Vol. 60. Izhevsk: IGMA, 2022: 167–168.
7. Tikhvinsky D.V. Preoperative assessment of the risks of complications in endovascular neurosurgery: numerical modeling based on clinical data. Mathematics: Proceedings of the 59th International Scientific Student Conference. Novosibirsk, February 12, 2021. Novosibirsk: NSU, 2021: 140.
8. Shevchenko A.A. Assessment of the risk of atherosclerotic cardiovascular events in obese individuals with mechanical injury. Fundamental Science and Clinical Medicine - Man and His Health: Proceedings of the XXVII International Medical and Biological Conference of Young Researchers. St. Petersburg, April 20, 2024. Saint Petersburg: OOO ID "Scientia", 2024: 149–150.
9. Yukhina Yu.E., Druk I.V., Korenova O.Yu. Hyporesponse to statin therapy among patients with carbohydrate metabolism disorders who have had acute coronary syndrome. *Therapy*. 2023; 9 S7(69): 354–357.
10. Wang, J., Zhang, R., Chen, X. et al. Elevated levels of plasminogen activator inhibitor-1 in patients with prediabetes and its association with cardiovascular risk factors. *Diabetes Research and Clinical Practice*. 2021; 172:108639.
11. Zhao, L., Xu, J., Wang, Q. et al. Circulating endothelial cells as a potential marker for endothelial dysfunction: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Cardiology*. 2020; 318: 53–58.
12. Chen, Y., Liu, Y., Zhu, X. et al. Limitations of traditional risk assessment tools in patients with metabolic disorders undergoing surgery: a prospective cohort study. *Anesthesia & Analgesia*. 2022; 134 (3): 554–562.
13. Saugel, B., Kouz, K., Scheeren, T.W.L. The '5 Ts' of perioperative goal-directed haemodynamic therapy. *British Journal of Anaesthesia*. 2019; 123 (2): 103–107.
14. Li, X., Zhang, Y., Wang, M. et al. Association between plasminogen activator inhibitor-1 and subclinical

- atherosclerosis in patients with prediabetes: a cross-sectional study. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*. 2023; 16:1–9.
15. Eikelboom, J.W., Connolly, S.J., Brueckmann, M. et al. Dabigatran versus warfarin in patients with mechanical heart valves. *Lancet*. 2020. 396. 1345–1354.
16. Kubisz, P., Stasko, J., Holly, P. et al. Sticky Platelet Syndrome: A Review. *Seminars in Thrombosis and Hemostasis*. 2019. 45. 408–418.
17. Burger, D., Savic, S., Amos, L. A. et al. The immunopathology of COVID-19 and the role of neutrophils. *Nature Reviews Nephrology*. 2021. 17. 26–38.
18. Zhang, L., Richards, A., Barrasa, M. I. et al. Reverse-transcribed SARS-CoV-2 RNA can integrate into the genome of cultured human cells and can be expressed in patient-derived tissues. *Nature Medicine*. 2022. 28. 31–38.

Информация об авторах:

Губайдуллин Ренат Рамилевич, д.м.н. доцент, профессор кафедры травматологии и ортопедии, e-mail: tempcor@list.ru; ORCID ID: 0000-0003-1582-4152

Author information:

Gubaydullin R.R., Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Traumatology and Orthopedics, e-mail: tempcor@list.ru; ORCID ID: 0000-0003-1582-4152

Информация.

Дата опубликования – 30.04.2025