

<http://doi.org/10.24884/2078-5658-2024-21-5-6-13>



## Перфузионный индекс как ранний предиктор гипотензии при расширенных онкоторакальных операциях (пилотное исследование)

Л. А. ЗИМИНА<sup>1</sup>, А. С. БУШУЕВ<sup>1</sup>, Р. А. АРУТЮНЯН<sup>1, 2</sup>, В. А. ЖИХАРЕВ<sup>1, 2\*</sup>

<sup>1</sup> Исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 имени профессора С. В. Очаповского, г. Краснодар, Россия

<sup>2</sup> Кубанский государственный медицинский университет, г. Краснодар, Россия

РЕЗЮМЕ

**Введение.** Современные стандарты интраоперационного мониторинга значительно сокращают время реакции на снижение артериального давления, но не включают методов прогнозирования изменения гемодинамики, позволяющих избежать эффектов системной гипоперфузии.

**Цель.** Оценить полезность определения перфузионного индекса для прогнозирования развития гипотензии и ее более ранней коррекции при проведении расширенных онкоторакальных операций.

**Материалы и методы.** Проведено проспективное открытое обсервационное исследование, в которое включено 100 пациентов, подвергшихся плановым онкоторакальным операциям. Проводили стандартный мониторинг, а также постоянный мониторинг перфузионного индекса. Значение перфузионного индекса регистрировали непосредственно перед индукцией. Пациентов разделили на две группы: в 1-й группе ( $n = 37$ ) у пациентов отмечалось снижение артериального давления, требующее подключения вазопрессорной поддержки, во 2-й группе ( $n = 63$ ) вазопрессорной поддержки не потребовалось.

**Результаты.** Выявлена умеренная линейная взаимосвязь с коэффициентом корреляции ( $r$ ), равным  $(-0,68)$ ,  $p < 0,001$  и сильная нелинейная взаимосвязь с коэффициентом ( $p$ ), равным  $(-0,95)$ ,  $p < 0,001$ . Для выявления модели взаимосвязи произведен полиномиальный регрессионный анализ. Рассчитана прогностическая формула использования вазопрессоров в зависимости от предоперационного уровня перфузионного индекса. На следующем этапе использовано дерево классификации анализа массива данных. Весь массив данных ( $n = 100$ ) случайным образом разделен на обучающую ( $n = 70$ ) и тестовую выборки ( $n = 30$ ). Выявлено, что гипотензия, требующая вазопрессорной поддержки, возникала у пациентов, чей исходный перфузионный индекс  $\leq 2,85$ . ROC-анализ определил AUC 0,952 (95% ДИ: 0,888–1,016).

**Закключение.** Низкое значение ПИ до индукции анестезии при проведении расширенных онкоторакальных операций можно использовать для мониторинга функциональной активности вегетативной нервной системы и прогнозирования интраоперационной гипотензии. Пациенты с исходным ПИ  $\leq 2,85$  имеют более высокий риск развития гипотензии при проведении расширенных онкоторакальных операций по сравнению с теми, у кого исходный ПИ  $\geq 2,85$ . Эффективность метода у пациентов с сопутствующей патологией не проверялась.

**Ключевые слова:** перфузионный индекс, гипотензия, торакальная хирургия

**Для цитирования:** Зими́на Л. А., Бушуев А. С., Арутюнян Р. А., Жихарев В. А. Перфузионный индекс как ранний предиктор гипотензии при расширенных онкоторакальных операциях (пилотное исследование) // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2024. – Т. 21, № 5. – С. 6–13. <http://doi.org/10.24884/2078-5658-2024-21-5-6-13>.

## Perfusion index as an early predictor of hypotension during advanced oncothoracic operations (pilot study)

LYUDMILA A. ZIMINA<sup>1</sup>, ALEXANDR S. BUSHUEV<sup>1</sup>, ROBERT A. ARUTYUNYAN<sup>1, 2</sup>, VASILII A. ZHIKHAREV<sup>1, 2\*</sup>

<sup>1</sup> Scientific Research Institution – Ochapovsky Regional Clinic Hospital № 1, Krasnodar, Russia

<sup>2</sup> Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia

ABSTRACT

**Introduction.** Current standards of intraoperative monitoring significantly reduce the response time to a decrease in blood pressure, but do not include methods for predicting changes in hemodynamics to avoid the effects of systemic hypoperfusion.

**The objective** was to evaluate the usefulness of determining the perfusion index for predicting the development of hypotension and its earlier correction during advanced oncothoracic operations.

**Materials and methods.** A prospective open-label observational study was conducted, which included 100 patients who underwent elective oncothoracic surgery. Standard monitoring was established, as well as continuous monitoring of the perfusion index. The perfusion index value was recorded immediately before induction. The patients were divided into 2 groups: in the 1st group ( $n = 37$ ), patients experienced a decrease in blood pressure, requiring vasopressor support; in the 2nd group ( $n = 63$ ), no vasopressor support was required.

**Results.** A moderate linear relationship was revealed with a correlation coefficient ( $r$ ) equal to  $(-0,68)$ ,  $p < 0,001$ , and a strong non-linear relationship with a coefficient ( $p$ ) equal to  $(-0,95)$ ,  $p < 0,001$ . To identify the relationship model, polynomial regression analysis was performed. A prognostic formula for the use of vasopressors was calculated depending on the preoperative level of perfusion index. At the next stage, a classification tree for analyzing the data array was used. The entire data array ( $n = 100$ ) is randomly divided into training ( $n = 70$ ) and test samples ( $n = 30$ ). It was revealed that hypotension requiring vasopressor support occurred in patients whose initial perfusion index was  $\leq 2.85$ . ROC analysis determined an AUC of 0.952 (95% CI: 0.888–1.016).

**Conclusion.** A low PI value before induction of anesthesia during advanced oncothoracic operations can be used to monitor the functional activity of the autonomic nervous system and predict intraoperative hypotension. Patients with a baseline PI  $\leq 2.85$  have a higher risk of developing hypotension during advanced oncothoracic surgery compared with those with a baseline PI  $\geq 2.85$ . The effectiveness of the method in patients with concomitant pathologies has not been tested.

**Keywords:** perfusion index, hypotension, thoracic surgery

**For citation:** Zimina L. A., Bushuev A. S., Arutyunyan R. A., Zhikharev V. A. Perfusion index as an early predictor of hypotension during advanced oncothoracic operations (pilot study). *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2024, Vol. 21, № 5, P. 6–13. (In Russ.). <http://doi.org/10.24884/2078-5658-2024-21-5-6-13>.

\* Для корреспонденции:

Василий Александрович Жихарев  
E-mail: [Vasilii290873@mail.ru](mailto:Vasilii290873@mail.ru)

\* For correspondence:

Vasily A. Zhikharev  
E-mail: [Vasilii290873@mail.ru](mailto:Vasilii290873@mail.ru)

## Введение

Гемодинамический мониторинг при проведении расширенных торакальных операций по поводу рака легкого имеет решающее значение, поскольку такие пациенты достаточно легко и остро восприимчивы к интра- и послеоперационным гемодинамическим нарушениям. Интраоперационная гипотензия связана с повышенным риском развития послеоперационных осложнений и более высокой смертностью, а ее тяжесть и продолжительность являются важными факторами, определяющими последующее повреждение органов со значительным увеличением сроков госпитализации пациентов [4, 14]. Однако оптимальные стратегии периоперационного прогнозирования и профилактики интраоперационной гипотензии для уменьшения осложнений при выполнении расширенных торакальных операций остаются нерешенными [15]. Частым методом оценки артериального давления (АД) при проведении торакальных операций является неинвазивное измерение артериального давления (НИАД), однако эпизоды гипотензии могут быть пропущены в течение промежутков рационального периода измерения АД представленным методом. Инвазивный контроль АД позволяет минимизировать время реагирования на изменения гемодинамики, но не позволяет прогнозировать эти нарушения.

Возможные осложнения интраоперационной гипотензии, требования к техническому оснащению для инвазивного измерения АД объясняют интерес к изучению возможности реализации новых методов неинвазивного мониторинга и прогнозирования изменений макрогемодинамики и микроциркуляции в анестезиологии и интенсивной терапии. Сигнал фотоплетизмографии (ФПГ), который десятилетиями использовался только для мониторинга насыщения гемоглобина кислородом, в настоящее время представляет собой интересный инструмент гемодинамического мониторинга [3].

Не так давно было высказано предположение, что неинвазивная пульсоксиметрия определяет перфузионный индекс и индекс вариабельности пульса и обеспечивает точные измерения для прогнозирования гемодинамических нарушений в различных областях медицины [8, 10, 18]. Именно поэтому данный показатель вызывает значительный интерес и рассматривается как экономически эффективный диагностический инструмент из-за его неинвазивного характера.

Таким образом, гемодинамическое управление с учетом переменных, выходящих за рамки измерения АД, может помочь в прогнозировании и ранней коррекции гемодинамической нестабильности и предотвратить развитие осложнений у пациентов в торакальной хирургии.

**Цель** исследования была направлена на оценку полезности определения перфузионного индекса (ПИ) для прогнозирования развития гипотензии и его более ранней коррекции при проведении расширенных онкоторакальных операций.

## Материалы и методы

В период с ноября 2023 по май 2024 гг. проведено проспективное открытое наблюдательное одноцентровое исследование, в которое включили пациентов, подвергшихся плановым расширенным торакальным операциям по поводу рака легкого. Учитывая то, что исследование является пилотным, а критерии формирования выборки в нашем исследовании достаточно жесткие (мы практически исключали коморбидных пациентов), когорта представленных пациентов скорее всего будет иметь достаточно низкую распространенность в генеральной популяции. В связи с этим мы использовали детерминированный подход к структурированию «sample size» табличным способом по методике К. А. Отдельновой, где для уровня значимости 0,05 в исследовании средней точности достаточно 100 исследуемых [1].

Критериями включения являлись: добровольное информированное согласие пациента на анестезию, верифицированный рак легкого, выполнение лобэктомии/билобэктомии/пневмонэктомии торакотомным доступом, возраст пациента от 60 до 70 лет, физический статус по ASA – II класс.

Критерии исключения: наличие тяжелых кардиологических заболеваний со снижением фракции выброса левого желудочка < 40%, и/или ишемическая болезнь сердца, ранее существовавшее тяжелое сосудистое заболевание, печеночная или почечная дисфункция, сахарный диабет, интраоперационная кровопотеря более 400 мл, а также невозможность или отказ пациента от установки эпидурального катетера.

Исследование выполнено в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (в ред. 2013 г.).

На дооперационном этапе регистрировали пол, возраст, индекс массы тела, сопутствующие заболевания (ХОБЛ, артериальная гипертензия), а также объем интраоперационной кровопотери.

По прибытии в операционную пациентам осуществляли электрокардиографический мониторинг. Систолическое артериальное давление, диастолическое артериальное давление (ДАД), среднее артериальное давление (СрАД), частоту сердечных сокращений (ЧСС) и насыщение кислородом (SpO<sub>2</sub>) измеряли с использованием неинвазивных методов. Пальцевой датчик пульсоксиметра (Mindray Beneview T5, Mindray Bio-medical Electronics Co. Ltd., Индия) прикреплялся к среднему или указательному пальцу доминирующей руки каждого пациента для постоянного мониторинга ПИ, который определяли как отношение пульсирующего кровотока к неппульсирующему статическому кровотоку в периферических тканях пациента, таких как палец, умноженный на 100, и выражался в процентах в диапазоне от 0,02% до 20% [5, 20].

В предоперационной в асептических условиях катетеризировали внутреннюю яремную вену двухпросветным катетером. Эпидуральное

**Таблица 1. Демографические и клинические показатели обследованных больных****Table 1. Demographic and clinical indicators of the examined patients**

| Показатель                           | 1-я группа (n = 37) | 2-я группа (n = 63) | p-value |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------|---------|
| Возраст, лет                         | 66 [62–68]          | 65 [62–67]          | 0,725*  |
| Пол, мужчины/женщины                 | 34/3                | 56/7                | 0,628** |
| Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup> | 25,5 [20–30,5]      | 26 [21–30]          | 0,843*  |
| <i>Сопутствующая патология</i>       |                     |                     |         |
| Гипертоническая болезнь (n/%)        | 29/78,4             | 19/30,2             | 0,0241* |
| ХОБЛ (n/%)                           | 14/37,8             | 21/33,3             | 0,634*  |
| Время операции, мин                  | 136 [110–182]       | 141 [108–191]       | 0,549*  |

Примечание: ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких; \* – критерий Манна–Уитни; \*\* – критерий  $\chi^2$  Пирсона.

пространство катетеризировали на уровне Th5–Th6 в положении пациента «сидя». После верификации эпидурального пространства заводили катетер на 3–4 см в краниальном направлении и фиксировали. Пациента укладывали на операционный стол и после преоксигенации ( $\text{EtO}_2 > 80\%$ ) проводили введение в анестезию с использованием пропофола 2–2,5 мг/кг, рокурония бромидом 0,5–0,6 мг/кг и фентанила 2–3 мкг/кг. Производили интубацию трахеи и главного бронха двухпросветной трубкой соответствующего размера. Однолегочную вентиляцию осуществляли согласно концепции протективной ИВЛ с возможно низкой подачей кислорода для поддержания безопасного уровня сатурации. Анестезию поддерживали севофлураном: МАС 0,5–0,7 в режиме «minimal flow», миорелаксацию – рокурония бромидом в фармакопейной дозировке. Анальгетический эффект поддерживали продленной инфузией ропивакаина 0,2% в эпидуральный катетер со скоростью 5 мл/ч при помощи эластомерной помпы. На этапах кожного разреза, торакотомии, выделения и обработки сосудов корня легкого всем пациентам дополнительно вводили 100 мкг фентанила. Интраоперационный мониторинг проводили по Гарвардскому стандарту.

Исходный уровень ПИ регистрировали непосредственно перед индукцией. Снижение систолического АД ниже 80 мм рт. ст. и/или снижение СрАД ниже 65 мм рт. ст. в интраоперационном периоде трактовали как гипотензию [2]. Значения СрАД, ЧСС и  $\text{SpO}_2$  фиксировали с интервалом 3 мин от исходного уровня в течение всей операции. Гипотензию незамедлительно купировали внутривенным введением норадреналина. Введение норадреналина начинали со скоростью 0,1 мкг·кг<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup> с инкрементом 0,05 мкг·кг<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup>. Временной интервал коррекции дозы норадреналина составлял 1 мин.

Регистрировали данные о объеме оперативного вмешательства и кровопотере.

**Статистический анализ.** Статистический анализ выполнен на языке программирования Python v. 3.0 (Python Software Foundation, США) в Jupyter Notebook (Anaconda3) с использованием библиотек Pandas, Numpy, Matplotlib, Scipy, Sklearn, Plotly, Confidenceinterval.

Нормальность распределения оценивали графически (анализ гистограмм распределения) и с использованием критерия Шапиро–Уилка. Для оценки количественных данных использовали U-критерий Манна–Уитни для двух сравниваемых групп. Для качественной оценки статистической значимости факторов применяли метод сопряженных таблиц критерий  $\chi^2$ . Нулевые гипотезы отвергали при  $p < 0,05$ . Проводили корреляционный анализ по Пирсону и Спирмену, полиномиальный регрессионный анализ, использовали метод «деревья решений» (деревья классификации) и ROC-анализ.

## Результаты

Было включено 100 пациентов. В зависимости от развившейся интраоперационной гипотензии пациентов разделили на две группы: в 1-ю группу вошло 37 пациентов, у которых отмечалось снижение АД, требующее подключения вазопрессорной поддержки, во 2-ю группу вошло 63 пациента без вазопрессорной поддержки. В табл. 1 указана гендерная и возрастная характеристика пациентов, антропометрические данные, а также длительность оперативного вмешательства.

У 88 пациентов на дооперационном этапе выявлены сопутствующие заболевания. Из них у 48 – гипертоническая болезнь, у 35 – хроническая обструктивная болезнь легких. У 5 пациентов в анамнезе выполнялась транскатетерная коронарная ангиопластика со стентированием коронарных артерий, но на момент операции, по данным эхокардиографии и нагрузочных проб, скрытой ишемии миокарда и сердечной недостаточности у них не обнаружено. По частоте и тяжести сопутствующей соматической патологии (ХОБЛ), а также длительности оперативного вмешательства различий в исследованных группах не выявлено ( $p = 0,634$  и  $p = 0,549$  соответственно). У пациентов 1-й группы выявлена статистически значимо большая частота гипертонической болезни в предоперационном периоде ( $p = 0,0241$ ). Кровопотеря в 1-й группе составила 157 мл, во 2-й группе – 153 мл ( $p = 0,57$ ). Так как в развитии гипотензии в определенной степени может иметь значение объем оперативного вме-

Таблица 2. Объем выполненной легочной резекции  
Table 2. Extent of pulmonary resection performed

| Операция                  | 1-я группа (n = 37) | 2-я группа (n = 63) | p-value ( $\chi^2$ ) |
|---------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Верхняя лобэктомия справа | 12                  | 18                  | 0,684                |
| Средняя лобэктомия справа | 2                   | 3                   | 0,886                |
| Нижняя лобэктомия справа  | 8                   | 10                  | 0,470                |
| Верхняя лобэктомия слева  | 3                   | 4                   | 0,739                |
| Нижняя лобэктомия слева   | 3                   | 6                   | 0,811                |
| Верхняя билобэктомия      | –                   | 1                   | –                    |
| Нижняя билобэктомия       | 1                   | 2                   | 0,893                |
| Пневмонэктомия справа     | 5                   | 9                   | 0,914                |
| Пневмонэктомия слева      | 3                   | 10                  | 0,339                |

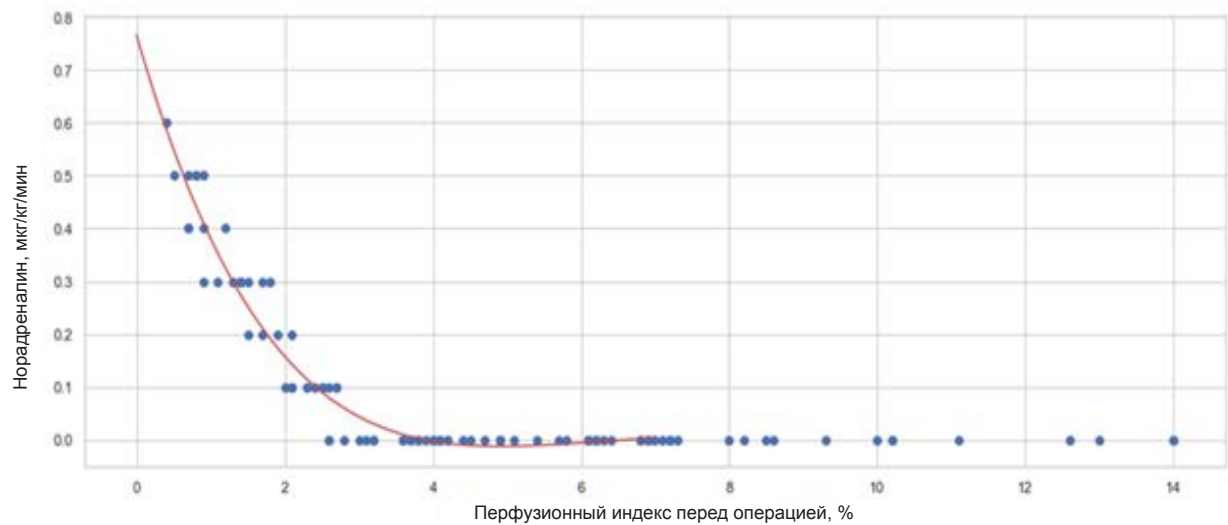


Рис. 1. Зависимость использования вазопрессоров от ПИ  
Fig. 1. Relationship between vasopressor use and PI

шательства, проведено межгрупповое разделение (табл. 2) по объему операции.

В проведенном исследовании существенных межгрупповых различий по данному показателю обнаружено не было. В последующем произведен анализ по поиску взаимосвязи между интраоперационной гипотензией и дооперационным значением ПИ.

На первом этапе был произведен корреляционный анализ по Пирсону и Спирмену. Выявлена умеренная линейная взаимосвязь с коэффициентом корреляции ( $r$ ), равным  $(-0,68)$ ,  $p < 0,001$  и сильная нелинейная взаимосвязь с коэффициентом ( $\rho$ ), равным  $(-0,95)$ ,  $p < 0,001$ . Следующим этапом произведена графическая визуализация зависимости распределения использования вазопрессоров от значения ПИ, представленная на рис. 1. Заметна явная нелинейная взаимосвязь между этими двумя показателями.

В связи с особенностями распределения для выявления модели взаимосвязи произведен полиномиальный регрессионный анализ. Эмпирическим путем установлена минимальная степень, которая не только описывает характер распределения, но и имеет высокий уровень детерминации. С помощью пакета Polynomial Features библиотеки sklearn.

preprocessing определено уравнение полиномиальной регрессии:  $y = 0,0002128 x^4 - 0,007285 x^3 + 0,08753 x^2 - 0,4325 x + 0,7335$ . Рассчитан коэффициент детерминации ( $R^2$ ), равный 0,952, что свидетельствует о высокой степени объяснения распределения показателей с учетом полученной формулы.

На рис. 2 представлена графическая визуализация линии тренда с учетом полученной формулы распределения.

Полученная прогностическая формула по использованию вазопрессоров достаточно массивна и сложно применима в обычной клинической практике.

Следующим этапом был использован такой метод автоматического анализа массива данных, как дерево классификации. Весь массив данных ( $n = 100$ ) случайным образом был разделен на обучающую ( $n = 70$ ) и тестовую выборки ( $n = 30$ ). Следует отметить, что полнота выявления всех пациентов, которым вводили норадреналин, была в приоритете точности выявления. Построенное дерево классификации обучающей выборки представлено на рис. 3.

Из дерева классификаций обучающей выборки ( $n = 70$ ) видно, что у пациентов со значением ПИ меньше либо равно 2,85 всегда использовали

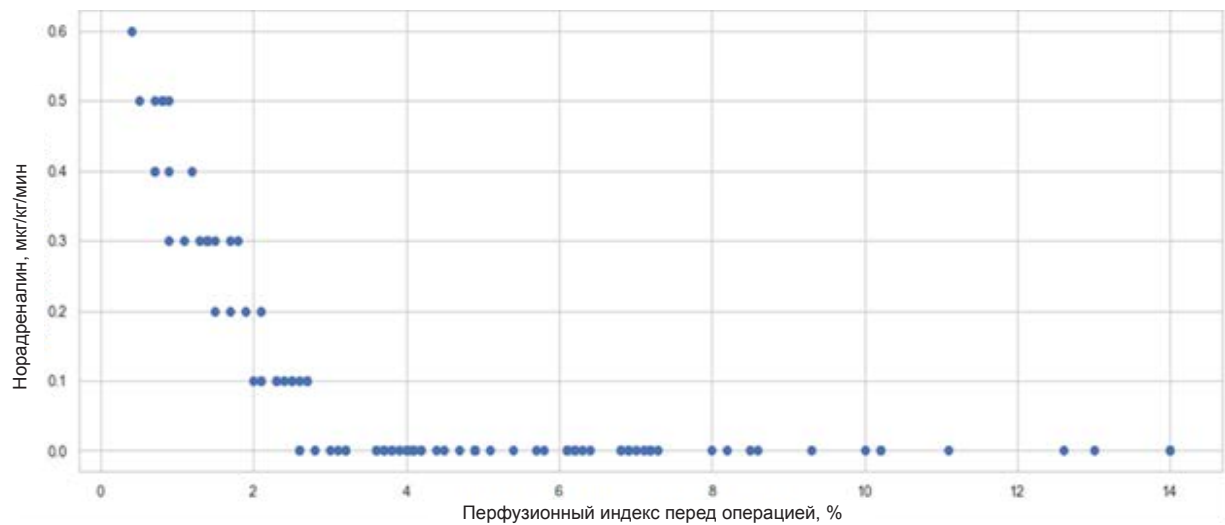


Рис. 2. Зависимость использования вазопрессоров от ПИ и линия тренда функции  $y = 0,0002128 x^4 - 0,007285 x^3 + 0,08753 x^2 - 0,4325 x + 0,7335$

Fig. 2. The dependence of the use of vasopressors on PI and the trend line of the function  $y = 0,0002128 x^4 - 0,007285 x^3 + 0,08753 x^2 - 0,4325 x + 0,7335$

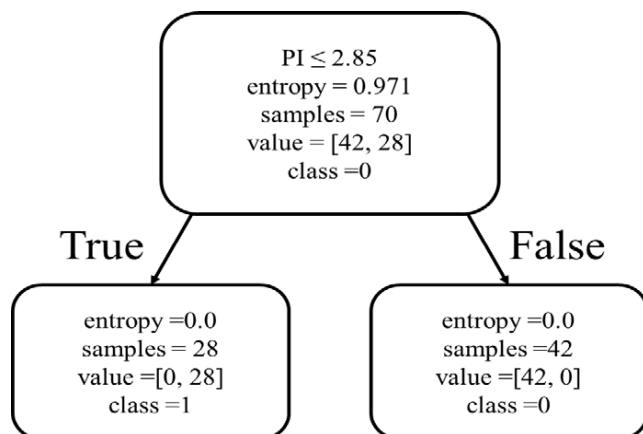


Рис. 3. Дерево классификации обучающей выборки

Fig. 3. Training sample classification tree

норадреналин ( $n = 28$ ), а в случае ПИ больше 2,85 норадреналин не применяли.

Далее произведен анализ тестовой выборки ( $n = 30$ ) относительно данных обучающей выборки: выявлено 19 истинно отрицательных значений, 9 истинно положительных значений и 2 ложно положительных значения, с общей точностью метода 0,93. Произведен ROC-анализ для тестовой выборки, представленный на рис. 4. AUC составил 0,952 (95% ДИ: 0,888–1,016).

### Обсуждение

Развитие интраоперационной гипотензии при проведении расширенных торакальных операций является результатом дисбаланса регуляции сердечно-сосудистой системы и может быть обусловлено снижением преднагрузки, постнагрузки, нарушением сердечной сократимости, комбинацией этих факторов, а также исходным вариантом тонуса вегетативной нервной системы. Коррекция в такой ситуации начинается уже после того, как развилась

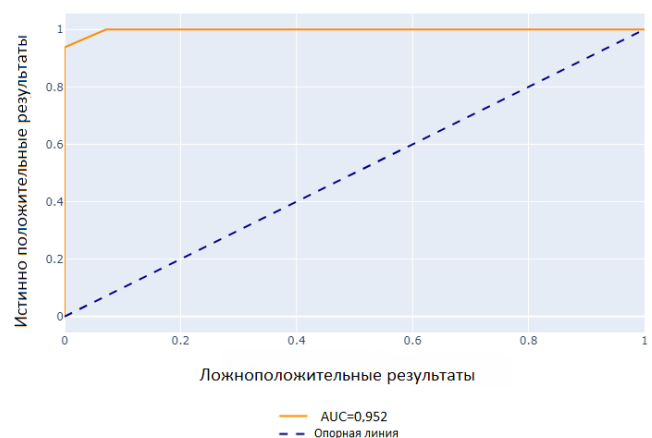


Рис. 4. ROC анализ метода деревьев классификации

Fig. 4. ROC analysis of the classification tree method

гипотензия и представляет собой комбинацию введения жидкости (в основном для оптимизации преднагрузки), вазопрессоров (в основном для оптимизации постнагрузки) или инотропов (оптимизации сократимости и, следовательно, сердечного выброса) в сочетании с титрованием уровня общей анестезии [19]. Контроль и мониторинг функциональной активности вегетативной нервной системы на дооперационном этапе, при проведении расширенных торакальных операций, дисбаланс которой может способствовать развитию интраоперационной гипотензии, представляет научный и клинический интерес.

Включение в предоперационное обследование анестезиологом методов функционального и динамического исследования вегетативной нервной системы для определения тонуса симпатического и парасимпатического звеньев вегетативной нервной системы перед оперативным вмешательством даст возможность раннего прогнозирования интраоперационной гипотензии, а ее предотвращение будет иметь важное клиническое значение из-за ее потенциальной

обратимости [12]. Таким образом, крайне важно учитывать исходный вариант тонуса вегетативной нервной системы, что позволит в конечном итоге снизить периоперационную заболеваемость и смертность. Параметр, полученный из плетизмограммы, перфузионный индекс, может быть полезен для мониторинга изменений автономной нервной системы.

Насколько нам известно, настоящее исследование является первым, которое направлено на разработку и проверку алгоритма прогнозирования интраоперационной гипотензии путем анализа значений ПИ, полученного до операции, у пациентов, подвергающимся расширенным торакальным операциям по поводу рака легкого. Для более точного воспроизведения и анализа данных мы исключили из исследования пациентов с функциональным классом по ASA > II, а также пациентов с интраоперационной кровопотерей более 400 мл. Исходно пациенты были сопоставимы по демографическим данным, длительности и характеру оперативного вмешательства ( $p > 0,05$ ).

Основным результатом исследования стала корреляция между предоперационным измерением ПИ и снижением СрАД у данной категории пациентов. Нами обнаружено, что ПИ  $\leq 2,85$  в предоперационном периоде можно использовать для прогнозирования интраоперационной гипотензии с более высокой чувствительностью и специфичностью.

Корреляция между ПИ и сердечным выбросом изучалась в предыдущих исследованиях. В исследовании Н. Tapar et al. (2018) продемонстрирована взаимосвязь между положением тела и перфузионным индексом; ПИ был самым низким, когда пациент находился на спине под углом 45 градусов [17]. Ретроспективное исследование, проведенное Н. Lian с группой соавторов (2020), предположило, что ПИ и сердечный индекс сильно коррелируют на ранней стадии лечения септического шока [9], а работа Н. He et al. (2015) показала, что ПИ тесно связан с сатурацией кислорода в центральной венозной крови ( $SvO_2$ ) у пациентов в критическом состоянии, что связано с гипоперфузией, и эти отношения усиливаются, когда ПИ  $< 1,4$  [6].

В проведенном нами исследовании выявлена умеренная линейная взаимосвязь с коэффициентом корреляции ( $r$ ), равным  $(-0,68)$ ,  $p < 0,001$  и сильная нелинейная взаимосвязь с коэффициентом ( $\rho$ ), равным  $(-0,95)$ ,  $p < 0,001$  дооперационного значения ПИ с развитием интраоперационной гипотензии, требовавшей применения вазопрессоров.

По мнению J. Y. Min et al. (2022), одной из причин гемодинамической нестабильности является исходная артериальная гипертензия. Такие пациенты длительное время подвергаются воздействию повышенного артериального давления, что приводит к анатомическим или патофизиологическим изменениям в гемодинамической системе. Эти изменения делают их чувствительными к действию анестетиков, которые часто вызывают гипотензию [11], что полностью согласуется с нашим исследованием, в

котором у 78,4% пациентов 1-й группы из сопутствующей патологии регистрировалась гипертоническая болезнь. С этой точки зрения мониторинг предоперационной системы гемодинамики можно считать важнейшим аспектом ведения больных с артериальной гипертензией.

Сочетание торакальной эпидуральной анальгезии с общей анестезией широко используется для периоперационного лечения пациентов, перенесших торакальные операции. Документально подтверждено, что гипотензия является наиболее частым побочным эффектом после эпидурального введения ропивакаина, но большинство исследований демонстрирует значительное снижение СрАД после эпидурального введения ропивакаина в концентрации 0,75% [7]. В нашем исследовании раствор ропивакаина для эпидурального введения использовали у всех пациентов, его концентрация не превышала 0,2%, таким образом не оказывалось значимого влияния на развитие интраоперационной гипотензии.

Исходный уровень ПИ был значительно ниже в группе с гипотензией. ПИ, измеренный по сигналу плетизмографа пульсоксиметра, рассчитывается как соотношение между пульсирующим компонентом (т. е. артериальным током) и неппульсирующим компонентом (т. е. венозной и капиллярной кровью и другими тканями) света, достигающего детектора пульсоксиметра, используемого для контроля сосудистого тонуса. ПИ увеличивается при вазодилатации и снижается при вазоконстрикции. Предоперационный сосудистый тонус и объемный статус являются факторами риска развития интраоперационной гипотензии в ответ на анестезирующую вазодилатацию. Кроме того, во время анестезии происходит дисбаланс барорецепторной рефлекторной системы, являющейся механизмом компенсации гипотензии [11]. Гемодинамические изменения, такие как высокий сосудистый тонус и низкий ударный объем, обусловленные реактивностью звеньев вегетативной нервной системы в период подготовки пациента к операции и во время самой операции, могут быть продемонстрированы низким ПИ при проведении расширенных онкоторакальных операций, как это наблюдалось в группе пациентов с гипотензией в настоящем исследовании. Были обследованы 100 пациентов для определения роли ПИ в оценке гемодинамики при проведении расширенных онкоторакальных операций и при снижении СрАД менее 65 мм рт. ст. незамедлительно проводили внутривенное титрование норадреналина в дозе от 0,1 до 0,4 мкг · кг<sup>-1</sup> · мин<sup>-1</sup>.

Таким образом, мы выявили, что ПИ, измеренный с помощью пальцевого пульсоксиметра, достаточно точно отражает предоперационный статус вегетативной нервной системы у пациентов, подвергающихся расширенным торакальным операциям, в отсутствии их коморбидности, и может быть полезен для прогнозирования интраоперационной гипотензии.

Проведенное исследование имеет несколько ограничений. Во-первых, интраоперационная

гипотензия определялась как  $\text{СрАД} < 65$  мм рт. ст. Согласно демографическим данным пациентов, средний возраст пациентов в исследовании составил 66 [62–68] лет. Стандартное определение гипотензии может быть другим в более возрастной или более молодой группах пациентов [13, 16].

Во-вторых, мы не измеряли активность симпатических и парасимпатических нервов как таковую и, в-третьих, мы исключили пациентов со значимым коморбидным фоном и пациентов с сахарным диабетом, при котором перфузия или структура сосудистой системы изменяются, что может повлиять на результаты исследования, поскольку ПИ зависит от тонуса сосудов пальцев, его роль в прогнозировании гипотензии в условиях, когда тонус этих сосудов нарушен, сомнительна.

## Заключение

Низкое значение ПИ до индукции анестезии при проведении расширенных онкоторакальных операций можно использовать для мониторинга функциональной активности вегетативной нервной системы и прогнозирования интраоперационной гипотензии. Пациенты с исходным  $\text{ПИ} \leq 2,85$  имеют более высокий риск развития гипотензии при проведении расширенных онкоторакальных операций, по сравнению с теми, у кого исходный  $\text{ПИ} \geq 2,85$ . Эффективность метода у пациентов с сопутствующей патологией не проверялась. Необходимы дальнейшие исследования, чтобы установить полезность определения ПИ у пациентов с отягощенным коморбидным фоном.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

**Conflict of Interests.** The authors state that they have no conflict of interests.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Отдельнова К. А. Определение необходимого числа наблюдений в социально-гигиенических исследованиях // Сб. трудов 2-го ММИ. – 1980. – Т. 150. – Вып. 6. – С. 18–22.
2. Bijker J. B., van Klei W. A., Kappen T. H. et al. Incidence of intraoperative hypotension as a function of the chosen definition: literature definitions applied to a retrospective cohort using automated data collection // *Anesthesiology*. – 2007. – Vol. 107, № 2. – P. 213–220. DOI: 10.1097/01.anes.0000270724.40897.8e.
3. Coutrot M., DuDOignon E., Joachim J. et al. Perfusion index: Physical principles, physiological meanings and clinical implications in anaesthesia and critical care // *Anaesthesia, critical care & pain medicine*. – 2021. – Vol. 40, № 6. – P. 100964. DOI: 10.1016/j.accpm.2021.100964.
4. Gumbert S. D., Kork F., Jackson M. L. et al. Perioperative acute kidney injury // *Anesthesiology*. – 2020. – Vol. 132, № 1. – P. 180–204. DOI: 10.1097/ALN.0000000000002968.
5. Hales J.R., Stephens F.R., Fawcett A.A. et al. Observations on a new non-invasive monitor of skin blood flow // *Clin Exp Pharmacol Physiol*. – 1989. – Vol. 16, № 5. – P. 403–415. DOI: 10.1111/j.1440-1681.1989.tb01578.x
6. He H., Long Y., Liu D. et al. Clinical classification of tissue perfusion based on the central venous oxygen saturation and the peripheral perfusion index // *Critical care (London, England)*. – 2015. – Vol. 19, № 1. – P. 330. DOI: 10.1186/s13054-015-1057-8.
7. Hong J. M., Lee H. J., Oh Y. J. et al. Observations on significant hemodynamic changes caused by a high concentration of epidurally administered ropivacaine: correlation and prediction study of stroke volume variation and central venous pressure in thoracic epidural anesthesia // *BMC anesthesiology*. – 2017. – Vol. 17, № 1. – P. 153. DOI: 10.1186/s12871-017-0444-x.
8. Jabarulla R., Dhivya D., Kumar M. S. P. To study the role of perfusion index as a predictor of hypotension during spinal anesthesia in lower segment cesarean section – a prospective observational study // *Anesthesia, essays and researches*. – 2021. – Vol. 15, № 3. – P. 263–267. DOI: 10.4103/aer.aer\_50\_21.
9. Lian H., Wang X., Zhang Q. et al. Changes in perfusion can detect changes in the cardiac index in patients with septic shock // *The Journal of international medical research*. – 2020. – Vol. 48, № 8. – P. 300060520931675. DOI: 10.1177/0300060520931675.
10. Mandala V. K., Mendu S. B., Bollaboina S. K. Y. et al. Role of perfusion index and pulse variability index in the assessment of neonatal hemodynamics: a systematic review // *Cureus*. – 2023. – Vol. 15, № 10. – P. e48058. DOI: 10.7759/cureus.48058.
11. Min J. Y., Chang H. J., Chu S. J., Chung M. Y. The perfusion index of the ear as a predictor of hypotension following the induction of anesthesia in patients with hypertension: a prospective observational study // *Journal of clinical medicine*. – 2022. – Vol. 11, № 21. – P. 6342. DOI: 10.3390/jcm11216342.
12. Nishiyama T. Effects of premedication on heart rate variability at induction of anaesthesia: comparison between midazolam and hydroxyzine // *Turk J Anaesthesiol Reanim*. – 2018. – Vol. 46, № 3. – P. 229–232. DOI: 10.5152/TJAR.2018.87059

## REFERENCES

1. Otdel'nova K. A. Determination of the required number of observations in social and hygienic studies. *Sb. trudov 2-go MMI*, 1980, vol. 150, no. 6, pp. 18–22. (In Russ.)
2. Bijker J. B., van Klei W. A., Kappen T. H. et al. Incidence of intraoperative hypotension as a function of the chosen definition: literature definitions applied to a retrospective cohort using automated data collection. *Anesthesiology*, 2007, vol. 107, no. 2, pp. 213–220. DOI: 10.1097/01.anes.0000270724.40897.8e.
3. Coutrot M., DuDOignon E., Joachim J. et al. Perfusion index: Physical principles, physiological meanings and clinical implications in anaesthesia and critical care. *Anaesthesia, critical care & pain medicine*, 2021, vol. 40, no. 6, pp. 100964. DOI: 10.1016/j.accpm.2021.100964.
4. Gumbert S. D., Kork F., Jackson M. L. et al. Perioperative acute kidney injury. *Anesthesiology*, 2020, vol. 132, no. 1, pp. 180–204. DOI: 10.1097/ALN.0000000000002968.
5. Hales J.R., Stephens F.R., Fawcett A.A. et al. Observations on a new non-invasive monitor of skin blood flow. *Clin Exp Pharmacol Physiol*, 1989, vol. 16, no. 5, pp. 403–415. DOI: 10.1111/j.1440-1681.1989.tb01578.x
6. He H., Long Y., Liu D. et al. Clinical classification of tissue perfusion based on the central venous oxygen saturation and the peripheral perfusion index. *Critical care (London, England)*, 2015, vol. 19, no. 1, pp. 330. DOI: 10.1186/s13054-015-1057-8.
7. Hong J. M., Lee H. J., Oh Y. J. et al. Observations on significant hemodynamic changes caused by a high concentration of epidurally administered ropivacaine: correlation and prediction study of stroke volume variation and central venous pressure in thoracic epidural anesthesia. *BMC anesthesiology*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 153. DOI: 10.1186/s12871-017-0444-x.
8. Jabarulla R., Dhivya D., Kumar M. S. P. To study the role of perfusion index as a predictor of hypotension during spinal anesthesia in lower segment cesarean section – a prospective observational study. *Anesthesia, essays and researches*, 2021, vol. 15, no. 3, pp. 263–267. DOI: 10.4103/aer.aer\_50\_21.
9. Lian H., Wang X., Zhang Q. et al. Changes in perfusion can detect changes in the cardiac index in patients with septic shock. *The Journal of international medical research*, 2020, vol. 48, no. 8, pp. 300060520931675. DOI: 10.1177/0300060520931675.
10. Mandala V. K., Mendu S. B., Bollaboina S. K. Y. et al. Role of perfusion index and pulse variability index in the assessment of neonatal hemodynamics: a systematic review. *Cureus*, 2023, vol. 15, no. 10, pp. e48058. DOI: 10.7759/cureus.48058.
11. Min J. Y., Chang H. J., Chu S. J., Chung M. Y. The Perfusion Index of the Ear as a Predictor of Hypotension Following the Induction of Anesthesia in Patients with Hypertension: A Prospective Observational Study. *Journal of clinical medicine*, 2022, vol. 11, no. 21, pp. 6342. DOI: 10.3390/jcm11216342.
12. Nishiyama T. Effects of premedication on heart rate variability at induction of anaesthesia: comparison between midazolam and hydroxyzine. *Turk J Anaesthesiol Reanim*, 2018, vol. 46, no. 3, pp. 229–232. DOI: 10.5152/TJAR.2018.87059

13. Oyetunji T. A., Chang D. C., Crompton J. G. et al. Redefining hypotension in the elderly: normotension is not reassuring // *Archives of surgery*. – 2011. – Vol. 146, № 7. – P. 865–869. DOI: 10.1001/archsurg.2011.154.
14. Salmasi V., Maheshwari K., Yang D. et al. Relationship between intraoperative hypotension, defined by either reduction from baseline or absolute thresholds, and acute kidney and myocardial injury after noncardiac surgery: a retrospective cohort analysis // *Anesthesiology*. – 2017. – Vol. 126, № 1. – P. 47–65. DOI: 10.1097/ALN.0000000000001432.
15. Saugel B., Sessler D. I. Perioperative blood pressure management // *Anesthesiology*. – 2021. – Vol. 134, № 2. – P. 250–261. DOI: 10.1097/ALN.0000000000003610.
16. Südfeld S., Brechnitz S., Wagner J. et al. Post-induction hypotension and early intraoperative hypotension associated with general anaesthesia // *British journal of anaesthesia*. – 2017. – Vol. 119. – P. 57–64. DOI: 10.1093/bja/aex127.
17. Tapar H., Karaman S., Dogru S. et al. The effect of patient positions on perfusion index // *BMC Anesthesiology*. – 2018. – Vol. 18, № 1. – P. 111. DOI: 10.1186/s12871-018-0571-z.
18. Uzkuç İ., Gurmen E. S., Tulay C. M. The role of the perfusion index in patients with thoracic trauma // *World Journal of Emergency Medicine*. – 2022. – Vol. 13, № 5. – P. 390–392. DOI: 10.5847/wjem.j.1920-8642.2022.077.
19. Vos J. J., Scheeren T. W. L. Intraoperative hypotension and its prediction // *Indian journal of anaesthesia*. – 2019. – Vol. 63, № 11. – P. 877–885. DOI: 10.4103/ija.IJA\_624\_19.
20. Yamazaki H., Nishiyama J., Suzuki T. Use of perfusion index from pulse oximetry to determine efficacy of stellate ganglion block // *Local Reg Anesth*. – 2012. – Vol. 5. – P. 9–14. DOI: 10.2147/LRA.S30257.
13. Oyetunji T. A., Chang D. C., Crompton J. G. et al. Redefining hypotension in the elderly: normotension is not reassuring. *Archives of surgery*, 2011, vol. 146, no. 7, pp. 865–869. DOI: 10.1001/archsurg.2011.154.
14. Salmasi V., Maheshwari K., Yang D. et al. Relationship between intraoperative hypotension, defined by either reduction from baseline or absolute thresholds, and acute kidney and myocardial injury after noncardiac surgery: a retrospective cohort analysis. *Anesthesiology*, 2017, vol. 126, no. 1, pp. 47–65. DOI: 10.1097/ALN.0000000000001432.
15. Saugel B., Sessler D. I. Perioperative blood pressure management. *Anesthesiology*, 2021, vol. 134, no. 2, pp. 250–261. DOI: 10.1097/ALN.0000000000003610.
16. Südfeld S., Brechnitz S., Wagner J. et al. Post-induction hypotension and early intraoperative hypotension associated with general anaesthesia. *British journal of anaesthesia*, 2017, vol. 119, pp. 57–64. DOI: 10.1093/bja/aex127.
17. Tapar H., Karaman S., Dogru S. et al. The effect of patient positions on perfusion index. *BMC Anesthesiology*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 111. DOI: 10.1186/s12871-018-0571-z.
18. Uzkuç İ., Gurmen E. S., Tulay C. M. The role of the perfusion index in patients with thoracic trauma. *World Journal of Emergency Medicine*, 2022, vol. 13, no. 5, pp. 390–392. DOI: 10.5847/wjem.j.1920-8642.2022.077.
19. Vos J. J., Scheeren T. W. L. Intraoperative hypotension and its prediction. *Indian journal of anaesthesia*, 2019, vol. 63, no. 11, pp. 877–885. DOI: 10.4103/ija.IJA\_624\_19.
20. Yamazaki H., Nishiyama J., Suzuki T. Use of perfusion index from pulse oximetry to determine efficacy of stellate ganglion block. *Local Reg Anesth*, 2012, vol. 5, pp. 9–14. DOI: 10.2147/LRA.S30257.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ГБУЗ «Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 имени профессора С. В. Очаповского» МЗ Краснодарского края, 350081, Россия, г. Краснодар, 1 Мая ул., д. 167.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» МЗ РФ, 350063, Россия, г. Краснодар, ул. имени Митрофана Седина, д. 4.

#### **Зими́на Людмила Александровна**

врач – анестезиолог-реаниматолог, ГБУЗ НИИ-ККБ1 им. проф. С. В. Очаповского.  
E-mail: bolotina.lyuda@gmail.com,  
ORCID: 0009-0001-1819-5913, SPIN: 6143-2170

#### **Бушуев Александр Сергеевич**

кандидат медицинских наук, врач – анестезиолог-реаниматолог, ГБУЗ НИИ-ККБ1 им. проф. С. В. Очаповского.  
E-mail: ksmukubris@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1427-4032, SPIN: 3640-7080

#### **Арутюнян Роберт Артурович**

врач-ординатор, ГБУЗ НИИ – ККБ № 1 им. проф. С. В. Очаповского.  
E-mail: robert.arutyunyan1212@mail.ru,  
ORCID: 0009-0008-8369-8171, SPIN: 6397-0207

#### **Жихарев Василий Александрович**

доктор медицинских наук, анестезиолог ГБУЗ НИИ-ККБ1 им. проф. С. В. Очаповского, ассистент кафедры анестезиологии, реаниматологии и трансфузиологии ФПК и ППС, Кубанский государственный медицинский университет.  
E-mail: Vasilii290873@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5147-5637, SPIN: 7406-7687

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Scientific Research Institution – Ochapovsky Regional Clinic Hospital № 1, 167, 1 May str., Krasnodar, 350081, Russia.

Kuban State Medical University, 4, imeni Mitrofana Sedina str., Krasnodar, 350063, Russia.

#### **Zimina Lyudmila A.**

Anesthesiologist and Intensivist, Scientific Research Institution – Ochapovsky Regional Clinic Hospital № 1.  
E-mail: bolotina.lyuda@gmail.com,  
ORCID: 0009-0001-1819-5913, SPIN: 6143-2170

#### **Bushuev Alexander S.**

Dr. of Sci. (Med.), Intensivist, Scientific Research Institution – Ochapovsky Regional Clinic Hospital № 1.  
E-mail: ksmukubris@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1427-4032, SPIN: 3640-7080

#### **Harutyunyan Robert A.**

Resident, Scientific Research Institution – Ochapovsky Regional Clinic Hospital № 1.  
E-mail: robert.arutyunyan1212@mail.ru,  
ORCID: 0009-0008-8369-8171, SPIN: 6397-0207

#### **Zhikharev Vasily A.**

Dr. of Sci. (Med.), Anesthesiologist, Scientific Research Institution – Ochapovsky Regional Clinic Hospital № 1, Assistant of the Department of Anesthesiology, Reanimatology and Transfusiology, Faculty of Advanced Training and Professional Retraining of Specialists, Kuban State Medical University.  
E-mail: Vasilii290873@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5147-5637, SPIN: 7406-7687