



© СС И. Ш. Кочоян, А. А. Обухова, З. А. Зарипова, 2025  
<https://doi.org/10.24884/2078-5658-2025-22-2-40-46>

# Использование классических параметров кардиореспираторного нагрузочного тестирования с целью выявления пациентов с высоким риском развития осложнений в торакальной хирургии

И. Ш. КОЧОЯН, А. А. ОБУХОВА, З. А. ЗАРИПОВА\*

Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова, Санкт-Петербург,  
Российская Федерация

Поступила в редакцию 12.11.2024 г.; дата рецензирования 19.12.2024 г.

РЕЗЮМЕ

**Цель** – оценить значимость классических показателей кардиореспираторного нагрузочного тестирования (КРНТ) для стратификации рисков развития сердечно-легочных осложнений после радикальной операции по поводу рака легкого.

**Материалы и методы.** Обследовали 185 пациентов с раком легкого ( $66 \pm 9$  лет, прооперированных в клинике ПСПбГМУ им. И.П. Павлова в 2018–2023 гг. Определили и проанализировали показатели КРНТ, включенные в рекомендации по прогнозированию летального исхода и общего числа осложнений: метаболический эквивалент (МЕТ), потребление кислорода ( $\dot{V}O_2/\text{кг}$  (мл/мин/кг; % от должного)), вентилаторный эквивалент по  $\text{CO}_2$  ( $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$ ). Проводили статистический анализ данных: межгрупповые различия оценивали при помощи t-критерия Стьюдента, прогностическую значимость – U-критерия Манна–Уитни, разделяющее значение – индекса Юдена.

**Результаты.** Не выявлено зависимости развития сердечно-легочных осложнений от достигнутых значений МЕТ ( $p = 0,513$ ), а также  $\dot{V}O_2/\text{кг}$  (пик) ( $p = 0,688$ ),  $\dot{V}O_2/\text{кг}$  (АП) ( $p = 0,707$ ),  $\dot{V}O_2/\text{кг}$  (пик)% от должных ( $p = 0,617$ ). Выявлены значимые различия по  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  на этапе анаэробного порога (АП): вероятность развития осложнений у пациентов с  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2(\text{АП}) \geq 32,649$  выше в 3,221 раза (95% ДИ: 1,304–4,571). Чувствительность и специфичность модели для  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  составили 69,8% и 60%, соответственно.  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  информативен также на этапе свободного педалирования (СП). Шансы развития сердечно-легочных осложнений были в 3,286 раз выше при  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  (СП)  $\geq 37,874$  ( $p > 0,001$ ).  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  сохраняет значимость после снятия нагрузки на всех этапах восстановления (B1, B2, B3). В группе риска пациенты с  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  (B1)  $\geq 34,274$ , сердечно-легочные осложнения развивались в 37,3% ( $p > 0,001$ ), с  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  (B2)  $\geq 37,533$  в 38,8% ( $p > 0,001$ ), с  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  (B3)  $\geq 38,508$  в 32,6% случаев ( $p = 0,007$ ).

**Заключение.** Вопреки принятым рекомендациям по прогнозированию летального исхода и общего числа осложнений после хирургических операций, значения МЕТ, а также  $\dot{V}O_2/\text{кг}$  (пик) и  $\dot{V}O_2/\text{кг}$  (АП) оказались не информативны для стратификации рисков при торакальных вмешательствах.  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  в отношении сердечно-легочных осложнений информативен не только на АП, но и на свободном педалировании и восстановлении, что делает его доступным для оценки функциональных резервов коморбидных пациентов с низкой толерантностью к физическим нагрузкам.

**Ключевые слова:** вентилаторный эквивалент по углекислому газу, предоперационная оценка, рак легкого, КРНТ, послеоперационные осложнения

**Для цитирования:** Кочоян И. Ш., Обухова А. А., Зарипова З. А. Использование классических параметров кардиореспираторного нагрузочного тестирования с целью выявления пациентов с высоким риском развития осложнений в торакальной хирургии // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2025. – Т. 22, № 2. – С. 40–46. <https://doi.org/10.24884/2078-5658-2025-22-2-40-46>.

## Applying of classic parameters of cardiorespiratory exercise testing to identify high-risk patients in thoracic surgery

IRINA SH. KOCHOYAN, ANNA A. OBUKHOVA, ZULFIYA A. ZARIPOVA\*

Pavlov University, Saint Petersburg, Russia

Received 12.11.2025; review date 19.12.2025

ABSTRACT

**The objective** was to assess the significance of classical cardiopulmonary exercise testing (CPET) indicators to stratify the risks of cardiopulmonary complications after radical surgery for lung cancer.

**Materials and methods.** The study involved 185 patients with lung cancer aged ( $66 \pm 9$ ) years who have undergone surgery at the clinic of the Pavlov University in 2018–2023. The following indicators of the CPET included in the recommendations for predicting mortality and postoperative complications were determined and analyzed: metabolic equivalent of task (MET), oxygen consumption ( $\dot{V}O_2/\text{kg}$ , ml/min/kg, % of expected), ventilatory equivalent for  $\text{CO}_2$  ( $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$ ). Statistical analysis of the data was carried out: intergroup differences were assessed using the Student t-test, prognostic significance – the Mann–Whitney U-test, and the separating value – the Youden index.

**Results.** No dependence was found between the development of complications and the achieved MET values ( $p = 0,513$ ), as well as  $\dot{V}O_2/\text{kg}$  (peak) ( $p = 0,688$ ),  $\dot{V}O_2/\text{kg}$  (AT) ( $p = 0,707$ ),  $\dot{V}O_2/\text{kg}$  (peak)% of expected ( $p = 0,617$ ). Significant differences in  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  were found at the anaerobic threshold (AT) stage: the probability of complications in patients with  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2(\text{AT}) \geq 32,649$  was 3.221 times higher (95% CI: 1.304 – 4.571). The sensitivity and specificity of the model for  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  were 69.8% and 60%, respectively.  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  is also informative at the free pedaling (FP) stage. The odds of cardiopulmonary complications were 3.286 times higher with  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  (FP)  $\geq 37,874$  ( $p > 0,001$ ).  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  retains its significance after unloading at all stages of recovery (R1, R2, R3). In the risk group patients with  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  (B1)  $\geq 34,274$ , complications developed in 37.3% ( $p > 0,001$ ), with  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  (B2)  $\geq 37,533$  in 38.8% ( $p > 0,001$ ), with  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  (B3)  $\geq 38,508$  in 32.6% of cases ( $p = 0,007$ ).

**Conclusions.** Contrary to accepted recommendations for predicting mortality and cardiopulmonary complications after surgical interventions, the values of MET, as well as  $\dot{V}O_2/\text{kg}$  (peak) and  $\dot{V}O_2/\text{kg}$  (AT) were not informative for risk stratification in thoracic surgery.  $\dot{V}E/\dot{V}'\text{CO}_2$  in relation to cardiopulmonary complications is informative not only on AT, but also during free pedaling and recovery, which makes it available for assessing the functional reserves of comorbid patients with low exercise tolerance.

**Keywords:** ventilatory equivalent for carbon dioxide, preoperative assessment, lung cancer, CPET, postoperative complications

**For citation:** Kochoyan I. Sh., Obukhova A. A., Zaripova Z. A. Applying of classic parameters of cardiorespiratory exercise testing to identify high-risk patients in thoracic surgery. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2025, Vol. 22, № 1, P. 40–46. (In Russ.). <https://doi.org/10.24884/2078-5658-2025-22-1-40-46>.

\* Для корреспонденции:  
Зульфия Абдулловна Зарипова  
E-mail: realzulya@mail.ru

\* Correspondence:  
Zulfiya A. Zaripova  
E-mail: realzulya@mail.ru

## Введение

Несмотря на использование в торакальной хирургии большого количества шкал по оценке рисков развития послеоперационных осложнений, их предикторная способность остается вариабельной и зависит от множества предшествующих факторов. Некоторые шкалы опираются на физическое состояние пациентов и риск анестезии, другие – на немодифицируемые факторы, такие как пол, возраст, объем оперативного вмешательства [2, 13]. Однако пациенты с идентичными антропометрическими характеристиками и структурными изменениями в рамках одной нозологии могут иметь различные резервы, в связи с этим оценка функционального статуса становится золотым стандартом для выявления индивидуального риска развития осложнений [4]. Для анестезиолога-реаниматолога прогнозирование рисков является ключевым фактором при определении тактики ведения пациента в периоперационном периоде, а понимание механизмов развития осложнений является первой ступенью к возможности влиять на них и/или профилактировать, что определяет безопасность анестезии. Использование кардиореспираторного нагрузочного тестирования (КРНТ) для оценки риска послеоперационных осложнений возросло за последнее десятилетие. КРНТ обеспечивает объективную оценку функционального статуса до операции и выявляет причины снижения толерантности к физическим нагрузкам. Информация, полученная с помощью данного исследования, может быть использована для оценки вероятности периоперационной заболеваемости и смертности. При условии внедрения КРНТ в рутинное предоперационное обследование предоперационная оценка состояния пациента становится индивидуально-ориентированной и обеспечивает получение достоверных результатов, которые могут быть использованы при принятии клинических решений [7].

В рекомендации по прогнозированию летального исхода и общего числа осложнений после различных хирургических вмешательств на данный момент в рекомендации включены такие классические показатели, как метаболический эквивалент (МЕТ), пиковое (и/или максимальное) потребление кислорода ( $\dot{V}O_2$  peak, л/мин), потребление кислорода на этапе анаэробного порога ( $\dot{V}O_2$  (АП), мл/мин/кг) и вентиляторный эквивалент по углекислому газу ( $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ ) на уровне анаэробного порога (АП), которые можно получить с помощью нагрузочных тестов с одновременной оценкой сердечно-сосудистой и дыхательной систем в динамике, как пока-

зателя состоятельности резервов организма [4, 12]. Однако указанные ранее в рекомендациях границы и применимость этих показателей для прогнозирования даже кардиологических катастроф, сейчас оспариваются, а для оценки респираторных осложнений практически не используются [5, 6]. В связи с этим оценивание классических переменных перед торакальными вмешательствами, где присутствует нарушение структурной целостности грудной клетки и кардиореспираторного континуума, и их возможное влияние на совокупный риск развития послеоперационных сердечно-легочных осложнений, является актуальной задачей.

**Цель** – оценить информационную значимость классических показателей кардиореспираторного нагрузочного тестирования для стратификации рисков развития сердечно-легочных осложнений после радикальной резекции по поводу рака легкого.

## Материалы и методы

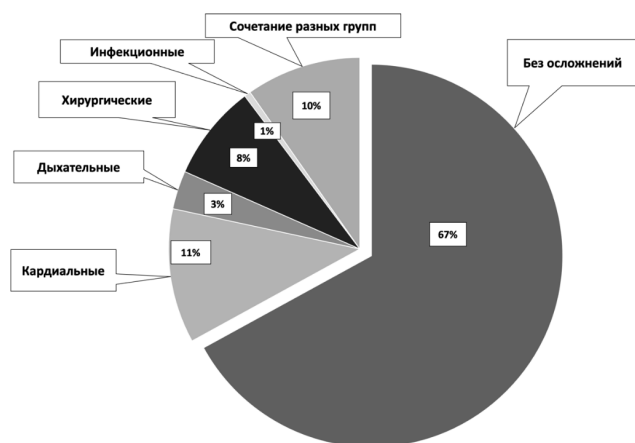
В ретроспективное исследование вошли 185 пациентов в возрасте  $66 \pm 9$  лет, среди них было 120 (64,9%) мужчин и 65 (35,1%) женщин, которым выполняли открытое оперативное вмешательство по поводу рака легкого в клинике ПСПбГМУ им. И. П. Павлова в период 2018–2023 гг. Все пациенты дали информированное согласие на участие в исследовании.

**Критерии включения** в исследование: пациенты с раком легкого старше 18 лет, которым запланировано открытое оперативное вмешательство на легких в объеме резекции легких или пульмонэктомии.

**Критерии исключения:** отказ пациента, невозможность выполнения КРНТ из-за технических проблем или наличия общесоматических противопоказаний (острый период инфаркта миокарда и нестабильная стенокардия, гемодинамически значимые аритмии, интеллектуально-мнестические нарушения и психические расстройства, эндокардит, острый миокардит или перикардит, аортальный стеноз, неконтролируемая сердечная недостаточность, подозрение на расслоение или разрыв аневризмы аорты, неконтролируемая бронхиальная астма, снижение сатурации артериальной крови в покое  $> 85\%$ , стеноз ствола левой коронарной артерии, тяжелая артериальная гипертензия в покое выше 200 мм рт. ст., значимая легочная гипертензия, текущий тромбоз сосудов нижних конечностей и/или недавно перенесенная тромбоэмболия ветвей легочной артерии, аневризма брюшного отдела аорты, заболевания опорно-двигательного аппарата и облитерирующий атеросклероз сосудов нижних

**Таблица 1.** Структура заболеваемости раком легкого у обследованных пациентов  
**Table 1.** The structure of lung cancer incidence in the examined patients

| Показатели | Категории                         | Абс. | %    | 95% ДИ    |
|------------|-----------------------------------|------|------|-----------|
| Пол        | женский                           | 65   | 35,1 | 28,3–42,5 |
|            | мужской                           | 120  | 64,9 | 57,5–71,7 |
| Диагноз    | центральный рак                   | 51   | 27,6 | 21,3–34,6 |
|            | периферический рак                | 134  | 72,4 | 65,4–78,7 |
| Осложнения | без сердечно-легочных осложнений  | 141  | 76,2 | 69,4–82,2 |
|            | с сердечно-легочными осложнениями | 44   | 23,8 | 17,8–30,6 |



**Рис. 1.** Диаграмма структуры послеоперационных осложнений у пациентов с раком легкого  
**Fig. 1.** Diagram of the structure of postoperative complications in patients with lung cancer

конечностей ограничивающие возможность проведения теста).

В начальной выборке было 225 пациентов с предварительным диагнозом «рак легкого», из окончательного анализа были исключены 40 человек ввиду отмены оперативного вмешательства или изменения тактики лечения.

Структура заболеваний представлена в табл. 1. Всем пациентам в предоперационном периоде проводили КРНТ. Структура заболеваемости раком легкого: среди женщин – периферический у 54 человек (83,1%), центральный – у 11 человек (16,9%); среди мужчин – периферический у 80 человек (66,7%), центральный – у 40 человек (33,3%).

Индекс массы тела (ИМТ) у обследуемых пациентов составил 26 (23–29). У 61 пациента (33%) развились осложнения в послеоперационном периоде, у 8 пациентов (4,3%) наступил летальный исход. В послеоперационном периоде развивались кардиальные (11,4%), дыхательные (3,2%), хирургические (8,1%), инфекционные (0,5%) осложнения. При этом у 9,7% пациентов встречались различные комбинации данных групп осложнений. Структура осложнений представлена на рис.1. Для итогового анализа мы учитывали только кардиальные и дыхательные осложнения (наблюдали развитие таких осложнений как пароксизм фибрилляции предсердий, пароксизм АВ-узловой тахикардии, кардиогенный отек легких, обострение ХОБЛ, пневмонию, ателек-

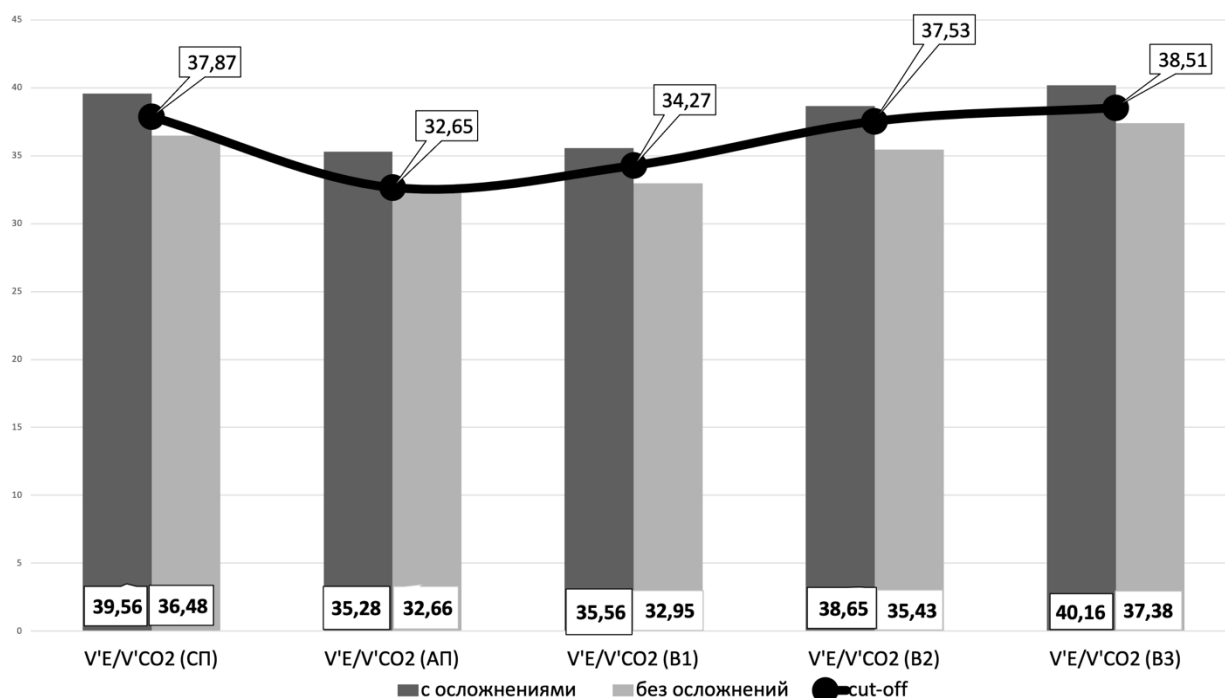
таз, острую ДН), которые развились у 44 человек (23,8% от общего числа пациентов; 14,6% в структуре всех осложнений), которые могли иметь связь с исходным функциональным статусом пациента, и не оценивали хирургические и инфекционные осложнения.

КРНТ проводили с помощью установки Cortex MetaLyser 3B, SunTech Tango M2, Custo Cardio 200 и велоэргометра Ergoline (Германия). Для всех пациентов был выбран единый протокол с непрерывно возрастающей (рамповой) нагрузкой с приростом 10 Вт/мин. Оценивали показатели, включенные в рекомендации по прогнозированию летального исхода и общего числа осложнений: MET,  $V'O_2$ /кг (мл/мин/кг; % от должного),  $V'E/V'CO_2$ . Приведенные показатели оценивались на различных этапах нагрузки: на этапе свободного педалирования (СП), на этапе анаэробного порога (АП), на пике нагрузки (пик), на 1-й, 2-й и 3-й минутах восстановления (B1, B2 и B3 соответственно). Все пациенты были разделены на две группы, в зависимости от наличия или отсутствия сердечно-легочных осложнений в послеоперационном периоде.

Для статистического анализа использована программа StatTech v.4.5.0 (разработчик – ООО «Статтех», Россия, 2024 г.). Переменные в выборке проверяли на предмет соответствия закону нормального распределения с помощью критериев Шапиро – Уилка и Колмогорова – Смирнова. Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, описывали с помощью средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (SD), границ 95% доверительного интервала (95% ДИ). В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывали с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1–Q3). Категориальные данные описывали с указанием абсолютных значений и процентных долей. Сравнение процентных долей при анализе четырехпольных таблиц сопряженности выполняли с помощью точного критерия Фишера. Межгрупповые различия в зависимости от типа переменной и характера распределения оценивали при помощи t-критерия Стьюдента, критерия Краскела – Уоллиса, Манна – Уитни. Различия считали значимыми при  $p > 0,05$ . Разделяющее значение количественного признака в точке cut-off определяли по наивысшему значению индекса Юдена. Оценку значимости показателей

**Таблица 2.** Статистический анализ связи классических переменных кардиореспираторного нагрузочного тестирования, включенных в рекомендации, с развитием послеоперационных сердечно-легочных осложнений  
**Table 2.** Statistical analysis of the association of classical cardiopulmonary exercise testing variables included in the guidelines with the development of cardiopulmonary postoperative complications

| Показатель                                       |                                 | Категория                                  |                                            | p     |
|--------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|
|                                                  |                                 | Без сердечно-легочных осложнений (n = 144) | С сердечно-легочными осложнениями (n = 41) |       |
| MET                                              | Me                              | 4,6                                        | 4,55                                       | 0,513 |
|                                                  | Q <sub>1</sub> –Q <sub>3</sub>  | 3,9 – 5,4                                  | 4,3–5,4                                    |       |
| V'O <sub>2</sub> /кг(пик) мл/мин/кг              | M ± SD                          | 14,57 ± 4                                  | 14,85 ± 4,1                                | 0,688 |
|                                                  | 95% ДИ                          | 13,91–15,24                                | 13,61–16,1                                 |       |
| V'O <sub>2</sub> /кг (пик) % от должных значений | Me                              | 67                                         | 72                                         | 0,617 |
|                                                  | Q <sub>1</sub> – Q <sub>3</sub> | 57– 83                                     | 55,5–90,25                                 |       |
| V'O <sub>2</sub> /кг (АП) мл/мин/кг              | M ± SD                          | 11,76 ± 2,77                               | 11,57 ± 3,53                               | 0,707 |
|                                                  | 95% ДИ                          | 11,3–12,22                                 | 10,48–12,65                                |       |



**Рис. 2.** Диаграмма динамического измерения вентиляторного эквивалента по углекислому газу (V'E/V'CO<sub>2</sub>) в зависимости от этапа кардиореспираторного нагрузочного тестирования в группа с осложнениями и без них: СП – этап свободного педалирования (без нагрузки на педали), АП – анаэробный порог, B1, 2, 3 – соответственно, 1, 2 и 3 минуты восстановительного периода

**Fig. 2.** Diagram of dynamic measurement of the ventilatory equivalent for carbon dioxide (V'E/V'CO<sub>2</sub>) depending on the stage of cardiopulmonary exercise testing in the group with and without complications: СП – stage of free pedaling, АП – anaerobic threshold, B1, 2, 3 – respectively, 1, 2 and 3 minutes of the recovery period V'E/V'CO<sub>2</sub> не показал статистически значимой связи с наступлением летального исхода в ходе госпитализации ( $p > 0,05$ ).

КРНТ для прогнозирования сердечно-легочных осложнений производили с помощью U-критерия Манна – Уитни.

## Результаты

Не было выявлено статистически значимой зависимости развития сердечно-легочных осложнений от достигнутых значений MET ( $p = 0,387$ ). Неинформативным с точки зрения прогнозирования сердечно-легочных осложнений также оказалось и измерение уровня потребления кислорода: как абсолютных

(V'O<sub>2</sub>/кг(пик),  $p = 0,372$ , V'O<sub>2</sub>/кг (АП),  $p = 0,396$ ), так и относительных значений (V'O<sub>2</sub>/кг (пик)% от должных,  $p = 0,791$ ), представлены в табл. 2.

При этом были выявлены статистически значимые различия между группами пациентов по V'E/V'CO<sub>2</sub> на этапе анаэробного порога, что согласуется с данными других авторов [4]. Так, 32,7% пациентов с V'E/V'CO<sub>2</sub>(АП) ≥ 32,649 имели сердечно-легочные осложнения в послеоперационном периоде ( $p = 0,002$ ). При этом шансы на развитие сердечно-легочных осложнений в этой группе были выше в 3,221 раза, по сравнению с группой

с  $V'E/V'CO_2$  (АП)  $> 32,649$ , различия шансов были статистически значимыми (95% ДИ: 1,304–4,571). Чувствительность и специфичность модели для  $V'E/V'CO_2$  составили 69,8% и 60% соответственно.

Кроме того,  $V'E/V'CO_2$  оказался информативен и на этапе СП. Шансы развития сердечно-легочных осложнений были в 3,286 раз выше при  $V'E/V'CO_2$  (СП)  $\geq 37,874$  ( $p > 0,001$ ), различия шансов были статистически значимыми (95% ДИ: 1,623–6,652).

$V'E/V'CO_2$  сохраняет статистическую значимость и после снятия нагрузки на всех этапах восстановления (B1, B2, B3). Так, в группе риска оказались пациенты с  $V'E/V'CO_2$  (B1)  $\geq 34,274$ , где сердечно-легочных осложнения развивались в 37,3% случаев ( $p > 0,001$ ). На второй минуте при  $V'E/V'CO_2$  (B2)  $\geq 37,533$  осложнения были у 38,8% пациентов ( $p > 0,001$ ). На третьей минуте  $V'E/V'CO_2$  (B3)  $\geq 38,508$  связан с высоким процентом осложнений у 32,6% пациентов ( $p = 0,007$ ). Динамика изменений  $V'E/V'CO_2$  на всех этапах проведения КРНТ представлена на рис. 2.

### Обсуждение

Использование КРНТ в предоперационной оценке основано на суждении о том, что дисфункция органов развивается в условиях стресса. Сердечный выброс, легочная вентиляция, потребление кислорода и выделение углекислого газа увеличиваются во время физической нагрузки пропорционально ее мощности. КРНТ отражает работу дыхательной и сердечно-сосудистой систем в условиях стресса и обеспечивает оценку кардиореспираторных резервов. Торакотомия и непосредственно послеоперационный период являются стрессовыми факторами для сердечно-сосудистой и дыхательной систем, в связи с этим реакцию организма на физическую нагрузку следует оценивать как предиктор послеоперационной заболеваемости и смертности [7].

Вентиляторный эквивалент по углекислому газу ( $V'E/V'CO_2$ ) – это объем вентиляции, который необходим для выведения 1 литра  $CO_2$ . Данный показатель отражает эффективность вентиляции [10, 12]. Повышение данного параметра наблюдается при таких заболеваниях как сердечная недостаточность, легочная гипертензия, легочный фиброз [6].

Уменьшение легочного сосудистого русла после резекции легкого может ухудшить легочную гемодинамику, особенно у пациентов с уже существующей субклинической легочной гипертензией или скрытой сердечной недостаточностью [11].

Недавние исследования демонстрируют более высокую информативность данного показателя по сравнению с  $V'O_{2max}$  для прогнозирования послеоперационных осложнений [6, 9]. В исследовании F. E. Gravier et al. оценена возможность использования  $V'E/V'CO_2$  как критерия эффективности предоперационной подготовки торакальных пациентов: проводимые мероприятия по преабилитации существенно увеличили  $V'O_{2peak}$ , но не привели к

изменению  $V'E/V'CO_2$ , однако была выявлена значительная умеренная отрицательная корреляция между  $V'E/V'CO_2$  и  $V'O_{2peak}$  [3].

В действующих рекомендациях  $V'E/V'CO_2$  оценивается только на АП [4]. Значимость  $V'E/V'CO_2$  на анаэробном пороге объясняется особенностями метаболизма. При достаточном потреблении кислорода и адекватной его доставке тканям энергия синтезируется путем аэробного гликолиза. При достижении уровня физической нагрузки, когда тканевой обмен превышает возможности потребления кислорода, происходит переход на анаэробный гликолиз с высвобождением лактата – преодолевается анаэробный порог [12]. Лактат буферизируется с образованием  $CO_2$ . В свою очередь, увеличение метаболизма углекислоты в норме ведет к увеличению минутной вентиляции для обеспечения респираторной компенсации метаболического ацидоза [10]. В группе риска развития послеоперационных осложнений оказались пациенты с увеличенным вентиляторным эквивалентом по углекислому газу, что отражает недостаточную эффективность вентиляции: ввиду сниженных функциональных резервов им требуется существенное увеличение минутной вентиляции для адекватного выведения углекислого газа. Данное состояние у пациентов с раком легкого, вероятнее всего, связано с нарушением перфузии и/или вентиляционно-перфузионных отношений.

Однако часть пациентов с раком легкого, ввиду наличия сопутствующей патологии и снижения толерантности к физической нагрузке, не могут достичь анаэробного порога при выполнении КРНТ. В нашем исследовании проводился анализ вентиляторного эквивалента на этапе СП, когда мощность нагрузки равна нулю, но уже требуется активная работа сердечно-сосудистой и дыхательной систем. При наличии явной или скрытой сердечно-сосудистой патологии многие исследователи особое внимание уделяют этапу восстановления [1, 12]. Нами было выявлено, что респираторный эквивалент показателен и в восстановительном периоде, что, вероятно, является следствием недостаточного выведения углекислоты во время выполнения физической нагрузки и также может быть связано с нарушением перфузии. В свою очередь нарушение перфузии может указывать на несостоятельность сердечно-сосудистой системы, даже в отсутствии явной кардиальной патологии, что и определяет осложнения со стороны сердца. Считается, что возможный механизм связи между  $V'E/V'CO_2$  и развитием нежелательных явлений в послеоперационном периоде может быть обусловлен уменьшением сосудистого русла после анатомической резекции легкого, что может усугубить несоответствие вентиляционно-перфузионных отношений у пациентов со скрытой субклинической легочной гипертензией или сердечной недостаточностью [9].

Таким образом, определение вентиляторного эквивалента по углекислому газу с помощью КРНТ позволяет не только стратифицировать риски

послеоперационных сердечно-легочных осложнений, но и судить о вероятных причинах снижения функциональных резервов с необходимостью расширения стандартных рамок предоперационного обследования и поиском методов коррекции перед оперативным вмешательством, что делает актуальным дальнейшее исследование.

## Выводы

1. Вопреки принятым рекомендациям по прогнозированию летального исхода и общего числа осложнений после различных хирургических вмешательств, значения метаболического эквивалента (МЕТ,  $p = 0,513$ ), а также потребления кислорода на пике нагрузки ( $V'O_2/\text{кг}(\text{пик})$ ,  $p = 0,688$ ;  $V'O_2/\text{кг}(\text{пик})\%$  от должных,  $p = 0,617$ ), и на этапе анаэробного порога ( $V'O_2/\text{кг}(\text{АП})$ ,  $p = 0,707$ ) оказались неинформативными для стратификации ри-

сков развития сердечно-легочных осложнений при торакальных вмешательствах.

2. Пациенты с  $V'E/V'CO_2$  выше или равным 32,649 на анаэробном пороге имеют высокий риск развития сердечно-легочных осложнений в послеоперационном периоде.

3. Вентиляторный эквивалент по углекислому газу информативен не только на анаэробном пороге, но и на этапе свободного педалирования и восстановления, что делает данный показатель доступным для оценки функциональных резервов коморбидных пациентов с низкой толерантностью к физическим нагрузкам.

4. В группу риска по развитию сердечно-легочных осложнений следует включать пациентов с  $V'E/V'CO_2$  выше или равным 37,874 на этапе свободного педалирования, выше или равным 34,274, 37,533 и 38,508 на 1-й, 2-й и 3-й минутах восстановления соответственно.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of Interests.** The author states that he has no conflict of interests.

**Вклад авторов.** Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации: разработке концепции статьи, получении и анализе фактических данных, написании и редактировании текста статьи, проверке и утверждении текста статьи.

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванова О. А., Кузлин С. Г. Скорость восстановления сердечного ритма после нагрузки при физической реабилитации кардиологических пациентов // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2018. – Т. 17, № 2. – С. 95–100.
2. Brunelli A., Chaudhuri N., Kefaloyannis M. et al. Eurolung risk score is associated with long-term survival after curative resection for lung cancer // Thorac Cardiovasc Surg. – 2021. – № 3. – P. 776–786. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2020.06.151>.
3. Gravier F. E., Bonnevie T., Boujibar F. et al. Effect of prehabilitation on ventilatory efficiency in non-small cell lung cancer patients: A cohort study // Thorac Cardiovasc Surg. – 2019. – № 6. – P. 2504–2512. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2019.02.016>.
4. Guazzi M., Arena R., Halle M. et al. 2016 focused update: clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations // Eur Heart J. – 2018. – Vol. 39, № 14. – P. 1144–1161. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw180>.
5. Halvorsen S., Mehilli J., Cassese S. et al. ESC Scientific Document Group. 2022 ESC Guidelines on cardiovascular assessment and management of patients undergoing non-cardiac surgery: Developed by the task force for cardiovascular assessment and management of patients undergoing non-cardiac surgery of the European Society of Cardiology (ESC) Endorsed by the European Society of Anaesthesiology and Intensive Care (ESAIC) // European Heart Journal. – 2022. – Vol. 43, № 39. – P. 3826–3924. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehac270>.
6. Jain A., Philip B., Begum M. et al. Risk stratification for lung cancer patients // Cureus. – 2022. – № 14. <https://doi.org/10.7759/cureus.30643>.
7. Kallianos A., Rapti A., Tsimpoukis S. et al. Cardiopulmonary exercise testing (CPET) as preoperative test before lung resection // J Thorac Dis. – 2012. – № 4. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2012.s017>.
8. Levett D. Z. H., Jack S., Swart M. et al. Perioperative Exercise Testing and Training Society (POETTS). Perioperative cardiopulmonary exercise testing (CPET): consensus clinical guidelines on indications, organization, conduct,

## REFERENCES

1. Ivanova O. A., Kuklin S. G. Rate of recovery of heart rate after exercise during physical rehabilitation of cardiac patients. *Cardiovascular therapy and prevention*, 2018, vol. 17, no. 2, pp. 95–100. (In Russ.).
2. Brunelli A., Chaudhuri N., Kefaloyannis M. et al. Eurolung risk score is associated with long-term survival after curative resection for lung cancer. *Thorac Cardiovasc Surg*, 2021, no. 3, pp. 776–786. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2020.06.151>.
3. Gravier F. E., Bonnevie T., Boujibar F. et al. Effect of prehabilitation on ventilatory efficiency in non-small cell lung cancer patients: A cohort study. *Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, no. 6, pp. 2504–2512. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2019.02.016>.
4. Guazzi M., Arena R., Halle M. et al. 2016 focused update: clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. *Eur Heart J*, 2018, vol. 39, no. 14, pp. 1144–1161. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw180>.
5. Halvorsen S., Mehilli J., Cassese S. et al. ESC Scientific Document Group. 2022 ESC Guidelines on cardiovascular assessment and management of patients undergoing non-cardiac surgery: Developed by the task force for cardiovascular assessment and management of patients undergoing non-cardiac surgery of the European Society of Cardiology (ESC) Endorsed by the European Society of Anaesthesiology and Intensive Care (ESAIC). *European Heart Journal*, 2022, vol. 43, no. 39, pp. 3826–3924. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehac270>.
6. Jain A., Philip B., Begum M. et al. Risk stratification for lung cancer patients. *Cureus*, 2022, no. 14. <https://doi.org/10.7759/cureus.30643>.
7. Kallianos A., Rapti A., Tsimpoukis S. et al. Cardiopulmonary exercise testing (CPET) as preoperative test before lung resection. *J Thorac Dis*, 2012, no. 4. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2012.s017>.
8. Levett D. Z. H., Jack S., Swart M. et al. Perioperative Exercise Testing and Training Society (POETTS). Perioperative cardiopulmonary exercise testing (CPET): consensus clinical guidelines on indications, organization, conduct,

- and physiological interpretation // *Br J Anaesth* – 2018. – № 3. – P. 484–500. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2017.10.020>.
9. Miyazaki T., Callister M. E. J., Franks K. et al. Minute ventilation-to-carbon dioxide slope is associated with postoperative survival after anatomical lung resection // *Lung Cancer* – 2018. – № 125. – P. 218–222. <https://doi.org/10.1016/j.lungcan.2018.10.003>.
  10. Pele I., Mihălțan F. D. Cardiopulmonary exercise testing in thoracic surgery // *Pneumologia, Sciendo*. – 2020. – № 69. – P. 3–10. <https://doi.org/10.2478/pneum-2020-0001>.
  11. Torchio R., Mazzucco A., Guglielmo M. et al. ventilation to carbon dioxide output ( $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$  slope) is the strongest death predictor before larger lung resections // *Monaldi Arch Chest Dis*. – 2017. – № 22. – P. 85–90. <https://doi.org/10.4081/monaldi.2017.817>.
  12. Wasserman K., Hansen J. E., Sue D. Y. et al. Principles of exercise testing and interpretation including pathophysiology and clinical applications // 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; a Wolter Kluwer business. – 2020. – 600 p.
  13. Yamamichi T., Ichinose J., Omura K. et al. Impact of postoperative complications on the long-term outcome in lung cancer surgery // *Surg Today*. – 2022. – № 52. – P. 1254–1261. <https://doi.org/10.1007/s00595-022-02452-4>.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова»  
МЗ РФ,  
197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Л. Толстого, д. 6/8

**Кочоян Ирина Шакроевна**

Ординатор 1-го года кафедры анестезиологии  
и реаниматологии.

E-mail: [ikochoyan@yandex.ru](mailto:ikochoyan@yandex.ru), ORCID: 0009-0000-5883-417X

**Обухова Анна Алексеевна**

канд. мед. наук, врач функциональной диагностики  
отделения функциональной диагностики № 2.

E-mail: [Obukhova\\_ann@mail.ru](mailto:Obukhova_ann@mail.ru), ORCID: 0000-0003-4818-9255

**Зарипова Зульфия Абдулловна**

канд. мед. наук, доцент кафедры анестезиологии и реанимации, руководитель центра аттестации и аккредитации.

E-mail: [realzulya@mail.ru](mailto:realzulya@mail.ru), ORCID: 0000-0002-2224-7536

## INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Pavlov University,  
6/8, L.Tolstogo str., Saint Petersburg, 197022, Russia

**Kochoyan Irina Sh.**

1<sup>st</sup> year Clinical Resident of the Department of Anesthesiology  
and Resuscitation.

E-mail: [ikochoyan@yandex.ru](mailto:ikochoyan@yandex.ru), ORCID: 0009-0000-5883-417X

**Obukhova Anna A.**

Cand. of Sci. (Med.), Physician, Functional Diagnostics  
Department № 2.

E-mail: [Obukhova\\_ann@mail.ru](mailto:Obukhova_ann@mail.ru), ORCID: 0000-0003-4818-9255

**Zaripova Zulfiya A.**

Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Center  
for Certification and Accreditation.

E-mail: [realzulya@mail.ru](mailto:realzulya@mail.ru), ORCID: 0000-0002-2224-7536