



Дыхательный резерв как предиктор послеоперационных легочных осложнений у пациентов с раком легкого

И. Ш. КОЧОЯН, Е. К. НИКИТИНА, А. А. ОБУХОВА, З. А. ЗАРИПОВА

Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель – оценить возможность использования показателя дыхательного резерва (ДР) для расчета индивидуального риска развития послеоперационных легочных осложнений (ПЛО) у пациентов, которым выполняли открытое оперативное вмешательство по поводу рака легкого.

Материалы и методы. Исследовали 185 пациентов, которым выполняли открытое оперативное вмешательство по поводу рака легкого в клинике ПСПбГМУ им. И. П. Павлова в период 2018–2020 гг. Всем пациентам в предоперационном периоде проводили кардиореспираторное нагрузочное тестирование (КРНТ) с определением показателей дыхательного резерва (ДР). Ретроспективно все пациенты были разделены на 2 группы в зависимости от развития послеоперационных легочных осложнений в течение 7 дней от момента операции. С целью оценки значимости ДР для прогнозирования риска развития ПЛО данные статистически обработали: использовали U-критерий Манна–Уитни, точный критерий Фишера, индекс Юдена и метод линейной регрессии.

Результаты. ПЛО зарегистрированы у 7 пациентов (3,8%), у 3 из них (42,9% от группы с ПЛО, и 1,6% от общей группы) они сопровождались острой дыхательной недостаточностью (ОДН), потребовавшей реинтубации и перевода на ИВЛ; у этих пациентов наступил летальный исход. На этапе анаэробного порога между группами достоверными были отличия в величине дыхательного резерва ($p = 0,003$). Обнаружена прямая корреляция между ДР на анаэробном пороге (АП) не только при пике нагрузки, но и на этапе свободного педалирования (СП) (теснота связи по шкале Чеддока ДР (АП) – ДР (пик) $\rho = 0,724$, ДР (АП) – ДР (СП) $\rho = 0,734$, $p < 0,001$). Шансы развития ПЛО изменялись следующим образом: в группе пациентов с ДР (СП) $< 72,025\%$ были выше в 21,4 раза, (95% ДИ: 2,499–182,958); с ДР (АП) $< 44,136\%$ были выше в 27,2 раза (95% ДИ: 4,850–152,167); с ДР (пик) $< 36,677\%$ были выше в 7,6 раза (95% ДИ: 1,426–40,640).

Заключение. Динамическое измерение ДР информативно на всех этапах КРНТ. Риск развития ПЛО увеличивается при дыхательном резерве ниже 72,025% на этапе свободного педалирования, ниже 44,136% на уровне анаэробного порога и ниже 36,677% на пике нагрузки. ДР служит маркером развития ПЛО у пациентов, которым показана операция по поводу рака легкого.

Ключевые слова: дыхательный резерв, послеоперационные легочные осложнения, предоперационная оценка, рак легкого, КРНТ

Для цитирования: Кочоян И. Ш., Никитина Е. К., Обухова А. А., Зарипова З. А. Дыхательный резерв как предиктор послеоперационных легочных осложнений у пациентов с раком легкого // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2024. – Т. 21, № 3. – С. 56–63. DOI: 10.24884/2078-5658-2024-21-3-56-63.

Breathing reserve as a predictor of postoperative pulmonary complications in patients with lung cancer

I. Sh. KOCHOYAN, E. K. NIKITINA, A. A. OBUKHOVA, Z. A. ZARIPOVA

Pavlov University, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

The objective was to assess the possibility of using breathing reserve (BR) to evaluate the individual risk of postoperative pulmonary complications (PPC) in patients who underwent open surgery for lung cancer.

Materials and methods. The study involved 185 patients who underwent open surgery for lung cancer in the clinic of the Pavlov University in 2018–2020. All patients underwent cardiopulmonary exercise testing (CPET) in the preoperative period to determine the BR. All patients were retrospectively divided into 2 groups depending on the presence of PPC during 7 days after the surgery. To assess the information content of BR for predicting PPC and their outcome, the data were statistically processed: the Mann–Whitney U-test, Fisher's exact test, Youden index and linear regression method were used.

Results. PPC developed in 7 patients (3.8%), in 3 of them (42.9% of the group with PC and 1.6% of the total group) they were accompanied by acute respiratory failure (ARF), requiring reintubation and mechanical ventilation; these patients died. At the anaerobic threshold (AT), there were significant differences in BR ($p = 0.003$). A direct correlation was found between BR at the AT not only at the peak load but also during the unloaded cycling (UC) (closeness of connection on the Chaddock scale BR (AT) – BR (peak) $\rho = 0.724$, BR (AT) – BR (UC) $\rho = 0.734$, $p < 0.001$). The chances to develop PC changed as follows: in the group of patients with BR (UC) $< 72.025\%$ were 21.4 times higher (95% CI: 2.499 – 182.958); with BR (AT) $< 44.136\%$ were 27.2 times higher (95% CI: 4.850 – 152.167); with BR (peak) $< 36.677\%$ were 7.6 times higher (95% CI: 1.426 – 40.640).

Conclusions. Dynamic measurement of the BR is informative at all stages of CPET. The risk of PPC and their unfavorable outcome increases when the BR is below 72.025% at the unloaded cycling, below 44.136% at the anaerobic threshold and below 36.677% at the peak load. BR can be used as a marker of the development of PPC in patients undergoing lung cancer surgery.

Key words: breathing reserve, postoperative pulmonary complications, preoperative assessment, lung cancer, CPET

For citation: Kochoyan I. Sh., Nikitina E. K., Obukhova A. A., Zaripova Z. A. Breathing reserve as a predictor of postoperative pulmonary complications in patients with lung cancer. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2024, Vol. 21, № 3, P. 56–63. (In Russ.) DOI: 10.24884/2078-5658-2024-21-3-56-63.

Для корреспонденции:
Зульфья Абдулловна Зарипова
E-mail: realzulya@mail.ru

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

Введение

После некардиохирургических вмешательств осложнения со стороны легких встречаются в 2–19% случаев при сосудистых и абдоминальных вмешательствах, в торакальной хирургии этот показатель достигает 40–59% [10]. Послеоперационные легочные осложнения (ПЛО) в торакальной хирургии встречаются чаще, чем кардиальные, увеличивая сроки госпитализации в среднем на 13–17 дней, а стоимость лечения и риски летальных исходов до 24,2% [5, 8, 17, 22]. По некоторым данным, ПЛО являются основной причиной, способствующей увеличению летальности после операции на легких, на их долю приходится до 84% всех смертей [7, 15].

Оценка вероятности возникновения у пациента ПЛО является нерешенной проблемой, и в настоящее время этой теме посвящено много публикаций [2, 5, 8, 16, 20]. Одним из способов оценки функциональных резервов пациента перед операцией является кардиореспираторное нагрузочное тестирование (КРНТ), поскольку физическая нагрузка является идеальным провоцирующим фактором, позволяющим определить полноценность физиологических компенсаторно-приспособительных механизмов организма, а при наличии явной или скрытой патологии – степень функциональной неполноценности [3, 15, 18]. Пациенты старшей возрастной группы требуют более тщательного обследования ввиду наличия возраст-ассоциированных немодифицируемых факторов риска развития осложнений [4, 23]. Основными показателями КРНТ, которые ранее были внесены в рекомендации по прогнозированию летального исхода и общего числа осложнений, являлись метаболический эквивалент (МЕТ), пиковое (и/или максимальное) потребление кислорода ($V'O_2/\text{кг peak}$), анаэробный порог (АП) [28] и вентиляторный эквивалент по углекислому газу на уровне АП ($V'E/V'CO_2$) [11, 24]. Однако их информативность и предсказательная ценность относятся в большей степени к кардиологическим проблемам, и даже оспариваются в последних исследованиях [13, 18]. Дыхательный резерв (ДР), который также оценивается в ходе КРНТ, в данных рекомендациях отдельно не учитывался.

Цель исследования – оценить возможность использования показателя дыхательного резерва для

расчета индивидуального риска развития послеоперационных легочных осложнений у пациентов, которым выполняли открытое оперативное вмешательство по поводу рака легкого.

Материалы и методы

В исследование вошли 185 пациентов в возрасте 67 (62–71) лет, которым выполняли открытое оперативное вмешательство по поводу рака легкого в клинике ПСПбГМУ им. И. П. Павлова в период 2018–2020 гг. Среди них было 120 (64,9%) мужчин и 65 (35,1%) женщин (табл. 1). Структура заболеваемости раком легкого: женщины – периферический у 54 человек (83,1%), центральный – у 11 человек (16,9%); мужчины – периферический у 80 человек (66,7%), центральный – у 40 человек (33,3%). Всем им в предоперационном периоде выполнено КРНТ. Индекс массы тела (ИМТ) у обследуемых пациентов составил 26 (23–29).

Критерии включения в исследование: пациенты с раком легкого, которым выполняли открытое оперативное вмешательство на легких, у которых было получено информированное согласие, и у которых не было выявлено противопоказаний к проведению КРНТ [1, 18].

КРНТ проводили на установке Cortex MetaLyser 3B, SunTech Tango M2, Custo Cardio 200 и велоэргометре Ergoline (Германия). Для всех пациентов был выбран единый протокол с непрерывно возрастающей (рамповой) нагрузкой с приростом 10 Вт/мин. На всех этапах КРНТ оценивали классические показатели – потребление кислорода на пике нагрузки ($V'O_2/\text{кг peak}$, мл·мин⁻¹·кг⁻¹), потребление кислорода на уровне анаэробного порога ($V'O_2/\text{кг}$, мл·мин⁻¹·кг⁻¹); показатели, отражающие вентиляцию и газообмен: вентиляторный эквивалент по углекислому газу ($V'E/V'CO_2$), ДР (%); показатели, отражающие эффективность выполненной нагрузки: уровень достижения нагрузки (WR, Вт) и количество достигнутых метаболических единиц (МЕТ) [18].

Дыхательный резерв выражается как разница между максимальной минутной вентиляцией (ММВ) и минутной вентиляцией при нагрузке (абсолютное значение, л/мин), либо как отношение этой разницы к ММВ (%). ММВ определяли непрямой метод, основанном на измерении максимального объема воздуха, выдыхаемого в течение

Таблица 1. Описательная статистика категориальных переменных

Table 1. Descriptive statistics of categorical variables

Показатель	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
Послеоперационные легочные осложнения:			
с осложнениями	7	3,8	1,5–7,6
без осложнений	178	96,2	92,4–98,5

Таблица 2. Классические переменные, оцененные в ходе кардиореспираторного нагрузочного тестирования на пике нагрузки и на уровне анаэробного порога**Table 2. Classical variables evaluated during cardiopulmonary exercise testing stress testing at peak load and at the level of the anaerobic threshold**

Показатель		Категория		p
		ПЛО (n = 7)	без ПЛО (n = 178)	
MET	Me	4	5	0,582*
	Q ₁ –Q ₃	4–5	4–5	
WR на пике нагрузки, Вт	Me	76	82	0,746*
	Q ₁ –Q ₃	71–88,5	67–95,5	
V'O ₂ peak, л/мин	Me	1,05	1,03	0,692*
	Q ₁ –Q ₃	0,85–1,15	0,89–1,23	
V'O ₂ peak, % от нормальных значений, %	Me	71	68	0,714*
	Q ₁ –Q ₃	58–73,5	57–86,75	
V'O ₂ /кг (АП), мл·мин ⁻¹ ·кг ⁻¹	M ± SD	11,97 ± 3,84	11,71 ± 2,93	0,714**
	95% ДИ	8,41–15,52	11,27–12,14	
V'E/V'CO ₂ (АП)	Me	35,57	32,98	0,096*
	Q ₁ –Q ₃	33,23–39,54	29,97–36,29	
V'E/MBL (АП)	M ± SD	0,54 ± 0,18	0,38 ± 0,13	0,003**
	95% ДИ	0,37–0,71	0,36–0,40	
ДР, % (АП)	M ± SD	46,31 ± 18,27	62,27 ± 13,47	0,003**
	95% ДИ	29,41–63,21	60,27–64,28	

Примечание: * – используемый метод: U-критерий Манна – Уитни; ** – используемый метод: t-критерий Стьюдента.

первой секунды форсированного выдоха (ОФВ1) после максимального вдоха (формула Jones).

Одновременно производили контроль электрокардиограммы (ЭКГ) и артериального давления (АД) обследуемого. Измерения показателей в динамике обеспечивали на этапах покоя и свободного педалирования, на анаэробном пороге, на пике нагрузки и в восстановительном периоде (на 1, 2 и 3 мин). Общее среднее время исследования для всех испытуемых составило 17,80 (16,28–19,73) мин.

Ретроспективно все пациенты были разделены на две группы в зависимости от развития послеоперационных легочных осложнений в течение 7 дней от момента операции. Характеристика пациентов представлена в табл. 1.

Статистические методы исследования. Статистический анализ проводили с использованием программы StatTech v. 4.0.6 (разработчик – ООО «Статтех», Россия, 2024 г.). Перед выполнением анализа статистических данных проверяли переменные в выборке 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 $p < 0,05$. Для оценки диагностической значимости количественных признаков при прогнозировании послеоперационных легочных осложнений применяли метод анализа ROC-кривых. Разделяющее значение количественного признака в точке cut-off определяли по наивысшему значению индекса Юдена. Оценку значимости ДР для прогнозирования ПЛО производили с помощью U-критерия Манна – Уитни. Пороговое значение, выше или ниже которого регистрировались осложнения, определяли с помощью индекса Юдена. С использованием метода линейной регрессии была разработана прогностическая модель, с помощью которой оценивали влияние разных анализируемых показателей на результат.

Результаты

Легочные осложнения развились у 7 пациентов (3,8%): у 5 – нозокомиальная пневмония (2,7% от общей группы), у 1 (0,54%) – аспирация, у 1 (0,54%) – ателектаз. У 3 пациентов (42,9% от группы с ПЛО, и 1,6% от общей группы) они сопровождались острой дыхательной недостаточностью (ОДН), потребовавшей реинтубации и перевода на искусственную вентиляцию легких; у этих пациентов наступил летальный исход.

Расчетный риск развития респираторных осложнений по Шкале оценки риска послеоперационной дыхательной недостаточности [8] в исследуемых группах не превышал 22 балла – средний риск (4,6%).

При оценке физической нагрузки, которую смогли выполнить пациенты обеих групп (WR на пике нагрузки, Вт), не удалось выявить значимых различий ($p = 0,746$). Также не было зависимости развития ПЛО от достигнутых значений МЕТ на пике нагрузки ($p = 0,582$) и уровня как абсолютных ($p = 0,692$), так и должных значений потребления кислорода $\dot{V}O_2$ peak ($p = 0,714$). Такие критерии, как $\dot{V}O_2/\text{кг}$ peak, в обеих группах были ниже, чем ожидаемые и должные, однако взаимосвязи с ПЛО не найдено (табл. 2).

При анализе классических показателей на анаэробном пороге взаимосвязей с ПЛО не было выявлено (табл. 2). Так, потребление кислорода на уровне анаэробного порога ($\dot{V}O_2/\text{кг}$ (АП), $\text{мл}\cdot\text{мин}^{-1}\cdot\text{кг}^{-1}$) было сопоставимым и составило $11,97 \pm 3,84$ $\text{мл}\cdot\text{мин}^{-1}\cdot\text{кг}^{-1}$ в группе ПЛО и $11,71 \pm 2,93$ $\text{мл}\cdot\text{мин}^{-1}\cdot\text{кг}^{-1}$ в группе без ПЛО ($p = 0,714$). Вентиляторный эквивалент по углекислому газу $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ (АП) был несколько выше в группе ПЛО ($p = 0,096$). На АП между группами статистически значимыми были отличия в величине дыхательного резерва ($p = 0,003$, табл. 2). Динамика изменений ДР на всех этапах проведения КРНТ представлена на рис. 1.

Различия между исследуемыми группами по ДР и пороговые значения, ниже которых риск ПЛО существенно возрастает, представлены в табл. 3.

Для оценки возможности использования ДР, полученного на этапе СП, с целью прогнозирования ПЛО был выполнен корреляционный анализ между различными этапами. Обнаружена прямая корреляция: между показателями ДР на АП и на пике нагрузки, а также на АП и на СП (рис. 2).

Прогностически значимые границы ДР представлены на рис. 3. Пороговое значение ДР (покой) в точке cut-off составило 82,51%. ПЛО прогнозировалось при значении ДР (покой) ниже данной величины. Чувствительность и специфичность модели составили 100% и 65,2% соответственно. В результате сопоставления ПЛО в зависимости от ДР (покой) были установлены статистически значимые различия ($p < 0,001$). Площадь под ROC-кривой составила $0,828 \pm 0,058$ с 95% ДИ: 0,714 – 0,942; $p = 0,003$. Шансы развития ПЛО в группе пациентов с ДР (покой) $\geq 82,51\%$ были ниже в 27,3 раза по сравнению с группой, где ДР был менее 82,51% (ОШ = 0,037; 95% ДИ: 0,002 – 0,652).

При оценке ДР на СП в зависимости от ПЛО были установлены статистически значимые различия ($p = 0,005$). Пороговое значение ДР (СП) в точке cut-off составило 72,025%. ПЛО прогнозировалось при значении ДР (СП) ниже данной величины. Чувствительность и специфичность модели составили 85,7% и 78,1% соответственно. В результате сопоставления ПЛО в зависимости от ДР (СП) были установлены статистически значимые различия ($p < 0,001$). Шансы ПЛО в группе пациентов с ДР (СП) $< 72,025\%$ были выше в 21,4 раза, по сравнению с пациентами, где ДР был $\geq 72,025\%$ (95% ДИ: 2,499 – 182,958).

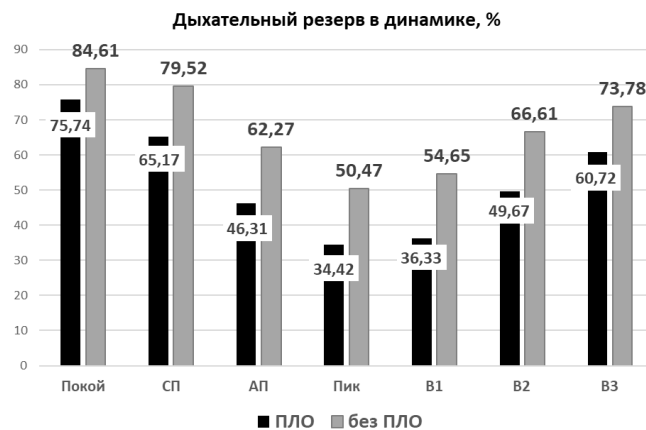


Рис. 1. Диаграмма динамического изменения дыхательного резерва (ДР, %) в зависимости от этапа кардиореспираторного нагрузочного тестирования в группах с осложнениями и без них, где ПЛО – группа с легочными послеоперационными осложнениями, без ПЛО – группа без легочных послеоперационных осложнений; покой – измерения производились до начала педалирования, СП – этап свободного педалирования (без нагрузки на педали), АП – анаэробный порог, пик – пиковая нагрузка, В 1, 2, 3 – 1, 2 и 3 мин восстановительного периода соответственно

Fig. 1. Diagram of dynamic changes in breathing reserve (BR, %), depending on the stage of cardiopulmonary exercise testing in groups with and without complications, where PPC is a group with pulmonary postoperative complications, without PPC is a group without pulmonary postoperative complications; rest measurements were performed before the start of cycling, UC is the stage of unloaded cycling (without cycling load), AT – anaerobic threshold, peak – peak load, At 1,2,3 – respectively, 1, 2 and 3 minutes of the recovery period

На анаэробном пороге площадь под ROC-кривой составила $0,769 \pm 0,073$ с 95% ДИ: 0,626–0,911, $p = 0,016$. Пороговое значение ДР (АП) в точке cut-off составило 44,136%. ПЛО прогнозировалось при значении ДР (анаэробный порог) ниже данной величины. Чувствительность и специфичность модели составили 71,4% и 90,9% соответственно. Шансы ПЛО у пациентов с ДР (АП) $< 44,136\%$ были выше в 27,2 раза, по сравнению с пациентами, где ДР (АП) был $\geq 44,136\%$ (95% ДИ: 4,850–152,167).

На пике нагрузки площадь под ROC-кривой составила $0,724 \pm 0,082$ с 95% ДИ: 0,563–0,884, $p = 0,045$. Пороговое значение ДР (пик) в точке cut-off составило 36,677%. ПЛО прогнозировалось при значении ДР (пик) ниже данной величины. Чувствительность и специфичность модели составили 71,4% и 75,8% соответственно. Шансы развития ПЛО у пациентов с ДР (пик) $< 36,677\%$ были выше в 7,6 раза, чем у пациентов, где ДР (пик) был $\geq 36,677\%$ (95% ДИ: 1,426–40,640).

На 1-й минуте восстановления (В1) площадь под ROC-кривой составила $0,83 \pm 0,058$ с 95% ДИ: 0,717–0,943; $p = 0,003$. Пороговое значение ДР (В1) в точке cut-off составило 44,5%. ПЛО прогнозировалось при значении ДР (В1) ниже данной величины. Чувствительность и специфичность модели составили 85,7% и 75,8% соответственно. Шансы развития ПЛО в группе пациентов с ДР (В1) $< 44,5\%$ были выше в 18,3 раза по сравнению с пациентами, где ДР (В1) был $\geq 44,5\%$ (95% ДИ: 2,141–155,965).

Таблица 3. Измерения дыхательного резерва на всех этапах нагрузки (ДР, %)

Table 3. Measurements of the respiratory reserve at all stages of the load (DR, %)

Этап нагрузки		Категории		p	Точка «cut-off» для развития ПЛО, %	P для точки «cut-off»
		ПЛО (n = 7)	без ПЛО (n = 178)			
Покой	Me	75,74	84,61	0,003*	82,510	< 0,001**
	Q ₁ – Q ₃	71,92 – 80,79	80,36 – 89,20			
Свободное педалирование (СП)	Me	65,17	79,52	0,005*	72,025	< 0,001**
	Q ₁ – Q ₃	58,38 – 70,17	73,79 – 83,25			
АП	M ± SD	46,31 ± 18,27	62,27 ± 13,47	0,003*	44,136	< 0,001**
	95% ДИ	29,41 – 63,21	60,27 – 64,28			
Пик нагрузки (пик)	Me	34,42	50,47	0,045*	36,677	0,015**
	Q ₁ – Q ₃	23,66 – 44,82	36,85 – 62,64			
Восстановление 1 минута (B1)	Me	36,33	54,65	0,003*	44,511	0,002**
	Q ₁ – Q ₃	30,55 – 40,80	44,74 – 66,11			
Восстановление 2 минута (B2)	Me	49,67	66,61	0,002*	56,989	0,002**
	Q ₁ – Q ₃	38,58 – 53,46	56,19 – 74,31			
Восстановление 3 минута (B3)	Me	60,72	73,78	0,004*	71,877	0,003**
	Q ₁ – Q ₃	51,43 – 64,99	64,96 – 79,37			

Примечание: * – различия показателей статистически значимы ($p < 0,05$), используемые методы: U-критерий Манна – Уитни, t-критерий Стьюдента; ** – различия показателей статистически значимы ($p < 0,05$), используемый метод: точный критерий Фишера.

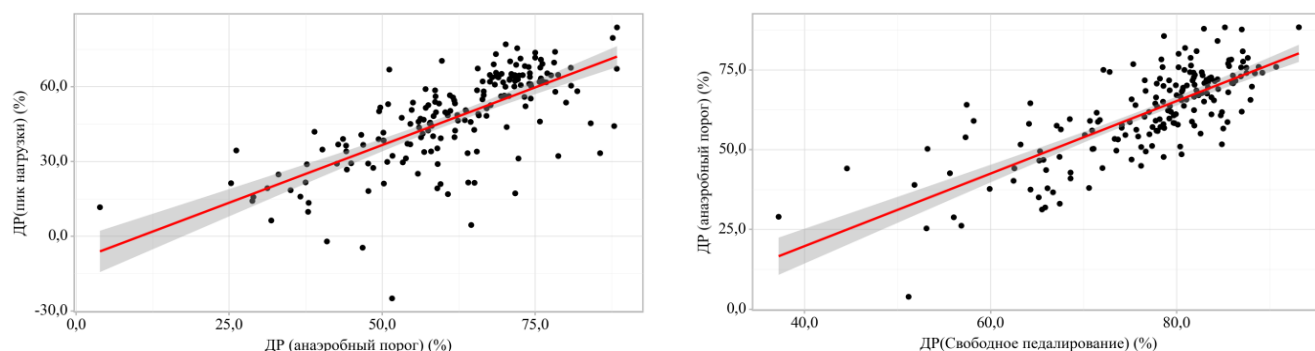


Рис. 2. Графики регрессионной функции, характеризующие зависимость дыхательного резерва (ДР) на анаэробном пороге от ДР на пике нагрузки и на свободном педалировании. Теснота связи по шкале Чеддока ДР (АП) – ДР (пик) $p = 0,724$ (высокая), ДР (АП) – ДР (СП) $p = 0,734$ (высокая), $p < 0,001$

Fig. 2. Regression function graphs characterizing the dependence of the breathing reserve (BR) at the anaerobic threshold on BR at peak load and at unloaded cycling. The closeness of the connection on the Chaddock scale BR (AT) – BR (peak) $p = 0.724$ (high), BR (AT) – BR (UC) $p = 0.734$ (high), $p < 0.001$

На 2-й минуте восстановления (B2) площадь под ROC-кривой составила $0,847 \pm 0,053$ с 95% ДИ: 0,742–0,951; $p = 0,002$. Пороговое значение ДР (B2) в точке cut-off составило 56,9%. ПЛО прогнозировалось при значении ДР (B2) ниже данной величины. Чувствительность и специфичность модели составили 85,7% и 74,6% соответственно. Шансы развития ПЛО у пациентов с ДР (B2) < 56,9% были выше в 17,2 раза по сравнению с группой, где ДР (B2) был $\geq 56,9\%$ (95% ДИ: 2,019 – 146,842).

На 3-й минуте восстановления (B3) площадь под ROC-кривой составила $0,818 \pm 0,061$ с 95% ДИ: 0,699–0,937, $p = 0,004$. Пороговое значение ДР (B3) в точке cut-off составило 71,9%. ПЛО прогнозировалось при значении ДР (B3) ниже данной величины. Чувствительность и специфичность модели составили 100% и 57,6% соответственно. Шансы развития ПЛО у пациентов с ДР (B3) < 71,9% были выше в 20,1 раза по сравнению с пациентами, где ДР (B3) был $\geq 71,9\%$ (95% ДИ: 1,130–357,312).

Обсуждение

Функциональный статус пациентов является определяющим при прогнозировании послеоперационных осложнений [13, 15, 18, 19]. Кардиореспираторное нагрузочное тестирование дает врачу-анестезиологу-реаниматологу новые возможности предоперационного обследования в части индивидуализации подходов к пациенту [2, 4]. Потребление кислорода, величина MET, мощность нагрузки являются классическими показателями толерантности к физической нагрузке, которая заложена в основу оценки функциональной полноценности взаимодействия сердечно-сосудистой и респираторной систем организма [24]. Чтобы оценить толерантность к физической нагрузке в ходе КРНТ у здоровых людей, параметры оценивают на уровне максимума нагрузки и на уровне анаэробного порога ($V'O_2/\text{кг}$ (АП)), когда возможности аэробной компенсации исчерпаны. При этом

достижение максимальной нагрузки и максимального потребления кислорода осуществимо лишь небольшим процентом людей [21]. Более того, оценка параметров на максимальной нагрузке может быть ошибочна, поскольку на ее достижение влияет не только состоятельность заинтересованных систем, но и физическая тренированность, которую от пациентов с раком легкого и потенциальной саркопенией ожидать сложно. В этой связи исследователи приняли поправку, что потребление кислорода у пациентов допустимо оценивать на той нагрузке, которую может выполнить данный пациент (пиковое потребление кислорода, $\dot{V}O_{2\text{ peak}}$) [1]. Этот показатель представляет собой метаболическую «работу» организма и прямо пропорционален физической нагрузке, измеренной в ваттах. Потребление кислорода на анаэробном пороге выше $11 \text{ мл} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$, пиковое потребление выше $20 \text{ мл} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$ и вентиляторный эквивалент по углекислому газу на анаэробном пороге ниже 30 указывают на функциональную операбельность и низкие периоперационные риски в целом [11, 14, 18]. В исследовании все пациенты представлялись функционально операбельными, и статистически значимых отличий по этим параметрам в группах без ПЛО и с ПЛО не найдено (табл. 2).

Высокий процент послеоперационных легочных осложнений [6, 7, 10, 17, 19, 22] определяет необходимость поиска как их предикторов, так и показателей, на основании которых можно предполагать, сможет ли пациент справиться с ними. Это особенно важно применительно к лицам старших возрастных групп, поскольку адаптационные возможности после оперативного вмешательства у них значительно снижены [4, 23]. Несмотря на то, что среди показателей, которые можно оценить в ходе КРНТ, есть параметры, отражающие «респираторный профиль» (дыхательный резерв, функциональное мертвое пространство, вентиляция легких и др.), они используются только в диагностике преимущественной проблемы, но в рекомендации не входят. Так, согласно блок-схеме К. Wasserman (2020), по уровню дыхательного резерва можно дифференцировать рестриктивные и обструктивные заболевания легких [24]. В этих случаях ДР, как правило, снижен, что приводит к снижению толерантности к физической нагрузке. Дыхательный резерв, измеренный в ходе возрастающей нагрузки, отражает, насколько легочная система способна к адаптации, и связан с максимальной способностью легких у конкретного пациента к вентиляции [24]. Это делает данный параметр интересным для его рассмотрения с позиции прогнозирования развития ПЛО.

B. D. Medoff et al. (1998) выявили, что оценка дыхательного резерва позволяет дифференцировать вклад патологии сердечно-сосудистой и дыхательной систем в снижение толерантности к физической нагрузке. Данные авторы выявили корреляцию между измерениями дыхательного резерва на максимальной нагрузке (пике нагрузки) и на анаэробном пороге [21]. В нашем исследовании были

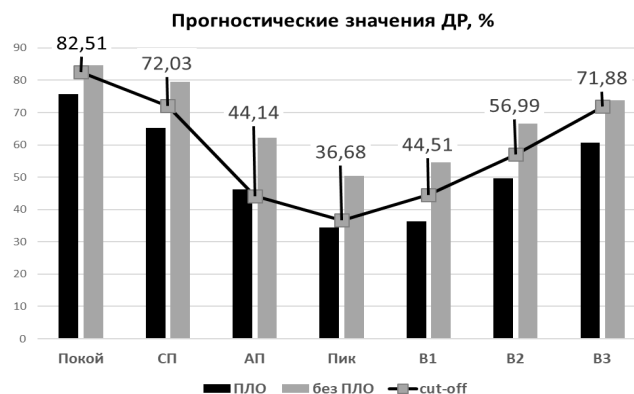


Рис. 3. Диаграмма прогностических значений (точки cut-off) для дыхательного резерва на разных этапах кардиореспираторного нагрузочного тестирования в группах с осложнениями и без них

Fig. 3. Diagram of prognostic values (cut-off points) for breathing reserve at different stages of cardiopulmonary exercise testing in groups with and without complications

получены сопоставимые данные (рис. 2).

Наличие сопутствующей патологии, включая исходные данные за хроническую обструктивную болезнь легких (ХОБЛ), будет вносить вклад в повышение процента осложнений и летальных исходов [12, 15]. Однако не все пациенты, которым показано оперативное вмешательство по поводу рака легкого, имеют установленный диагноз ХОБЛ, но могут иметь предпосылки к развитию бронхообструкции при определенных условиях, что также требует обратить внимание на предикторную способность дыхательного резерва в ходе нагрузочного тестирования, особенно на этапе восстановления. Более того, оценка связанных с дыхательным резервом параметров может изменить тактику предоперационной подготовки, интраоперационного подхода к вентиляции и послеоперационного ведения пациента [12, 19, 20]. Те пациенты, которые имеют нормальные показатели спирометрии и при этом отмечают одышку, также могут быть обследованы при помощи КРНТ с определением параметров, влияющих на дыхательный резерв и сердечно-сосудистый ответ, особенно если ранее было повреждение легочной ткани, как например, после перенесенной инфекции SARS-CoV-2, что также будет осложнять течение послеоперационного периода [9].

В исследовании продемонстрировано, что на всех этапах нагрузки, а также в покое и на восстановлении показатели ДР информативны для прогнозирования ПЛО. Некоторые пациенты не могут достичь анаэробного порога вследствие разных причин, поэтому важно отметить, что показатель ДР, измеренный на этапе СП, также позволяет оценить риск развития ПЛО.

Выводы

1. Классические параметры потребления кислорода, уровень достижения нагрузки и количество достигнутых метаболических единиц не играют существенной роли для прогноза развития легочных осложнений и их переносимости.

2. Динамическое измерение дыхательного резерва информативно на всех этапах кардиореспираторного нагрузочного тестирования, в связи с чем пациенты, которые не в состоянии достичь анаэробного порога и максимальной нагрузки, могут быть оценены по дыхательному резерву на уровне свободного педалирования.

3. Риск послеоперационных легочных осложнений и их неблагоприятного исхода увеличивает-

ся при дыхательном резерве ниже 72,0% на этапе свободного педалирования, ниже 44,1% на уровне анаэробного порога и ниже 36,4% на пике нагрузки.

4. Дыхательный резерв, измеренный в динамике при помощи кардиореспираторного нагрузочного тестирования, служит маркером развития послеоперационных легочных осложнений и позволяет оценить их переносимость у пациентов, которым показана операция по поводу рака легкого.

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. Колоскова Н. Н., Шаталов К. В., Бокерия Л. А. Определение пикового потребления кислорода: физиологические основы и области применения // Креативная кардиология. – 2014. – Т. 8, № 1. – С. 48–56.
2. Левченко К. С. Изучение потребления кислорода в предоперационной оценке хирургического риска у пациентов с онкологическими заболеваниями легких // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – № 2. DOI: 10.17513/spno.30659.
3. Кардиопульмональный нагрузочный тест: физиологические основы, методология, интерпретация результатов. Пособие для врачей / под ред. проф. Е. В. Шляхто. СПб: Издательство СПбГМУ, 2008. – 47 с.
4. Троцюк Д. В., Медведев Д. С., Чиков А. Е. и др. Возможности оценки функционального состояния организма и прогнозирования исхода оперативного лечения пациентов старших возрастных групп по данным кардиореспираторного нагрузочного тестирования // Клиническая геронтология. – 2021. – Т. 27, № 3–4. – С. 82–89. DOI: 10.26347/1607-2499202103-04082-089.
5. Храпов К. Н., Ковалев М. Г., Седов С. С. Подготовка к анестезии больных с сопутствующей патологией легких и высоким риском развития послеоперационных легочных осложнений // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2020. – Т. 17, № 2. – С. 20–28. DOI: 10.21292/2078-5658-2020-17-2-20-28.
6. Abbott T. E. F., Fowler A. J., Pelosi P. et al. A systematic review and consensus definitions for standardised end-points in perioperative medicine: pulmonary complications // Brit. J. Anaesthesia. – 2018. – № 120. – P. 1066–1079. DOI: 10.1016/j.bja.2018.02.007.
7. Agostini P., Cieslik H., Rathinam S. et al. Postoperative pulmonary complications following thoracic surgery: are there any modifiable risk factors? // Thorax. – 2010. – Vol. 65. – P. 815–818. DOI: 10.1136/thx.2009.123083.
8. Canet J., Gallart L., Gomar C. et al. Prediction of postoperative pulmonary complications in a population-based surgical cohort // Anaesthesiology. – 2010. – Vol. 113, № 6. – P. 1338–50. DOI: 10.1097/ALN.0b013e3181fc6e0a.
9. Frizzelli A., Di Spigno F., Moderato L. et al. An impairment in resting and exertional breathing pattern may occur in long-COVID patients with normal spirometry and unexplained dyspnoea // J. Clin. Med. – 2022. – Vol. 11. – P. 7388. DOI: 10.3390/jcm11247388.
10. Garcia Miguel F. J., Serrano-Aguilar P. G., Lopez-Bastida J. Preoperative assessment. Lancet. – 2003. – Vol. 362, № 9397. – P. 1749–1757. DOI: 10.1016/s0140-6736(03)14857-x.
11. 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. DOI: 10.1093/eurheartj/ehw180.
12. Gruber E. M., Tschernko E. M. Anaesthesia and postoperative analgesia in older patients with chronic obstructive pulmonary disease: special considerations. Therapy in practice // Drugs Aging. – 2003. – Vol. 20, № 5. – P. 347–360. DOI: 10.2165/00002512-200320050-00004.
13. 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. DOI: 10.1093/eurheartj/ehac270.
14. Harsoor S. S., Zulfiquar A. Cardiopulmonary exercise testing – A new addition to pre-anaesthetic armamentarium // Indian Journal of Anaesthesia. – 2010. – Vol. 54, Is. 4. – P. 279–282. DOI: 10.4103/0019-5049.68367.

REFERENCES

1. Koloskova N.N., Shatalov K.V., Bockeria L.A. Measurement of maximal oxygen uptake: physiological basis and clinical applications. *Creative Cardiology*, 2014, vol. 8, no. 1, pp. 48–56. (In Russ.)
2. Levchenko K.S. Study of oxygen consumption in pre-operative assessment of surgical risk in patients with lung cancer. *Modern problems of science and education*, 2021, no. 2. (In Russ.) DOI: 10.17513/spno.30659.
3. Cardiopulmonary exercise testing: physiological basis, methodology, interpretation of results. Manual for doctors / eds by prof. E.V. Shlyakhto. Spb, St. Petersburg State Medical University Publishing House, 2008, 47 p. (In Russ.)
4. Trotsyuk D.V., Medvedev D.S., Chickov A.E. et al. Cardiopulmonary exercise testing for the assessment functional state and prediction surgical treatment outcome in older patients. *Clinical gerontology*, 2021, vol. 27, no. 3–4, pp. 82–89. (In Russ.) DOI: 10.26347/1607-2499202103-04082-089.
5. Khrapov K.N., Kovalev M.G., Sedov S.S. Preparation for anesthesia of patients with concomitant lung pathology and a high risk of developing postoperative pulmonary complications. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2020, vol. 17, no. 2, pp. 20–28. (In Russ.) DOI: 10.21292/2078-5658-2020-17-2-20-28.
6. Abbott T.E.F., Fowler A.J., Pelosi P. et al. A systematic review and consensus definitions for standardised end-points in perioperative medicine: pulmonary complications. *Brit. J. Anaesthesia*, 2018, no. 20, pp. 1066–1079. DOI: 10.1016/j.bja.2018.02.007.
7. Agostini P., Cieslik H., Rathinam S. et al. Postoperative pulmonary complications following thoracic surgery: are there any modifiable risk factors? *Thorax*, 2010, vol. 65, pp. 815–818. DOI: 10.1136/thx.2009.123083.
8. Canet J., Gallart L., Gomar C. et al. Prediction of postoperative pulmonary complications in a population-based surgical cohort. *Anesthesiology*, 2010, vol. 113, no. 6, pp. 1338–50. DOI: 10.1097/ALN.0b013e3181fc6e0a.
9. Frizzelli A., Di Spigno F., Moderato L. et al. An impairment in resting and exertional breathing pattern may occur in long-COVID patients with normal spirometry and unexplained dyspnoea. *J. Clin. Med.*, 2022, vol. 11, pp. 7388. DOI: 10.3390/jcm11247388.
10. Garcia Miguel F.J., Serrano-Aguilar P.G., Lopez-Bastida J. Preoperative assessment. *Lancet*, 2003, vol. 362, no. 9397, pp. 1749–1757. DOI: 10.1016/s0140-6736(03)14857-x.
11. 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. DOI: 10.1093/eurheartj/ehw180.
12. Gruber E.M., Tschernko E. M. Anaesthesia and postoperative analgesia in older patients with chronic obstructive pulmonary disease: special considerations. *Therapy in practice. Drugs Aging*, 2003, vol. 20, no. 5, pp. 347–360. DOI: 10.2165/00002512-200320050-00004.
13. 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. DOI: 10.1093/eurheartj/ehac270.
14. Harsoor S.S., Zulfiquar A. Cardiopulmonary exercise testing – A new addition to pre-anaesthetic armamentarium. *Indian Journal of Anaesthesia*, 2010, vol. 54, is. 4, pp. 279–282. DOI: 10.4103/0019-5049.68367.

15. Kim E.S., Kim Y.T., Kang C.H. et al. Prevalence of and risk factors for post-operative pulmonary complications after lung cancer surgery in patients with early-stage COPD // *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. – 2016. – Vol. 11. – P. 1317–1326. DOI: 10.2147/COPD.S105206.
16. Kristensen S.D., Knuuti J., Saraste A. et al. Authors/Task Force Members. 2014 ESC/ESA Guidelines on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management: The Joint Task Force on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Anaesthesiology (ESA) // *European Heart Journal*. – 2014. – Vol. 35. – P. 2383–2431. DOI: 10.1093/eurheartj/ehu282.
17. Lakshminarasimhachar A., Smetana G.W. Preoperative evaluation: estimation of pulmonary risk // *Anesthesiol Clin*. – 2016. – Vol. 34, № 1. – P. 71–88. DOI: 10.1016/j.anclin.2015.10.007.
18. Levett D.Z.H., Jack S., Swart M. et al. Perioperative cardiopulmonary exercise testing (CPET): consensus clinical guidelines on indications, organization, conduct, and physiological interpretation // *Br J Anaesth*. – 2018. – Vol. 120, № 3. – P. 484–500. DOI: 10.1016/j.bja.2017.10.020.
19. Lobdell K.W., Heniford B.T., Sanchez J.A. Managing the complex high-risk surgical patient // *Surgical Patient Care*. – 2017. – P. 589–612. DOI: 10.1007/978-3-319-44010-1_34.
20. Lumb A.B. Pre-operative respiratory optimization: an expert review // *Anaesthesia*. – 2019. – Vol. 74, № 1. – P. 43–48. DOI: 10.1111/anae.14508.
21. Medoff B.D., Oelberg D.A., Kanarek D.J. et al. Breathing reserve at the lactate threshold to differentiate a pulmonary mechanical from cardiovascular limit to exercise // *Chest*. – 1998. – Vol. 113, № 4. – P. 913–918. DOI: 10.1378/chest.113.4.913.
22. Miskovic A., Lumb A.B. Postoperative pulmonary complications // *Br J Anaesth*. – 2017. – Vol. 118, № 3. – P. 317–334. DOI: 10.1093/bja/aex002. PMID: 28186222.
23. Trotsyuk D., Medvedev D., Zaripova Z. Specificities of preoperative evaluation of older patients with cancer // *Process management and scientific developments*. October, 13, 2021. – Birmingham, United Kingdom. PART 1. – 2021. – P. 62–68. DOI: 10.34660/INF.2021.38.16.011.
24. 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.
15. Kim E.S., Kim Y.T., Kang C.H., et al. Prevalence of and risk factors for post-operative pulmonary complications after lung cancer surgery in patients with early-stage COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2016, vol. 11, pp. 1317–1326. DOI: 10.2147/COPD.S105206.
16. Kristensen S.D., Knuuti J., Saraste A. et al. Authors/Task Force Members. 2014 ESC/ESA Guidelines on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management: The Joint Task Force on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Anaesthesiology (ESA). *European Heart Journal*, 2014, vol. 35, pp. 2383–2431. DOI: 10.1093/eurheartj/ehu282.
17. Lakshminarasimhachar A., Smetana G.W. Preoperative evaluation: estimation of pulmonary risk. *Anesthesiol Clin*, 2016, vol. 34, no. 1, pp. 71–88. DOI: 10.1016/j.anclin.2015.10.007.
18. Levett D.Z.H., Jack S., Swart M. et al. Perioperative cardiopulmonary exercise testing (CPET): consensus clinical guidelines on indications, organization, conduct, and physiological interpretation. *Br J Anaesth*, 2018, vol. 120, no. 3, pp. 484–500. DOI: 10.1016/j.bja.2017.10.020.
19. Lobdell K.W., Heniford B.T., Sanchez J.A. Managing the complex high-risk surgical patient. *Surgical Patient Care*, 2017, pp. 589–612. DOI: 10.1007/978-3-319-44010-1_34.
20. Lumb A.B. Pre-operative respiratory optimization: an expert review. *Anaesthesia*, 2019, vol. 74, no. 1, pp. 43–48. DOI: 10.1111/anae.14508.
21. Medoff B.D., Oelberg D.A., Kanarek D.J. et al. Breathing reserve at the lactate threshold to differentiate a pulmonary mechanical from cardiovascular limit to exercise. *Chest*, 1998, vol. 113, no. 4, pp. 913–918. DOI: 10.1378/chest.113.4.913.
22. Miskovic A., Lumb A.B. Postoperative pulmonary complications. *Br J Anaesth*, 2017, vol. 118, no. 3, pp. 317–334. DOI: 10.1093/bja/aex002. PMID: 28186222.
23. Trotsyuk D., Medvedev D., Zaripova Z. Specificities of preoperative evaluation of older patients with cancer. *Process management and scientific developments*, October, 13, 2021, Birmingham, United Kingdom. PART 1, 2021, pp. 62–68. DOI: 10.34660/INF.2021.38.16.011.
24. 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.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова» МЗ РФ,
197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6-8

Кочоян Ирина Шакроевна

студентка VI курса лечебного факультета.
E-mail: ikochoyan@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-5883-417X

Никитина Екатерина Константиновна

студентка VI курса лечебного факультета.
E-mail: nikitina.ka7@yandex.ru, ORCID: 0009-0006-5859-8596

Обухова Анна Алексеевна

аспирант кафедры функциональной диагностики, врач функциональной диагностики отделения функциональной диагностики № 2.
E-mail: Obukhova_ann@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4818-9255

Зарипова Зульфия Абдулловна

кандидат медицинских наук, доцент кафедры анестезиологии и реанимации, руководитель центра аттестации и аккредитации.
E-mail: realzulya@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2224-7536

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Pavlov University,
6-8, L'va Tolstogo str., Saint Petersburg, 197022, Russia.

Kochoyan Irina Sh.

6th year Student of the Faculty of Medicine.
E-mail: ikochoyan@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-5883-417X

Nikitina Ekaterina K.

6th year Student of the Faculty of Medicine.
E-mail: nikitina.ka7@yandex.ru, ORCID: 0009-0006-5859-8596

Obukhova Anna A.

Postgraduate Student, Department of Functional Diagnostics; Physician, Functional Diagnostics Unit № 2.
E-mail: Obukhova_ann@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4818-9255

Zaripova Zulfiya A.

Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Anesthesiology and Intensive Care, Head of the Center for Certification and Accreditation.
E-mail: realzulya@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2224-7536