

# Информативность субмаксимальных параметров кардиопульмонального нагрузочного теста в оценке функционального резерва у больных туберкулезом легких

У.И. Матвеева<sup>1</sup>, Л.Д. Кирюхина<sup>1,2</sup>, Н.Г. Нефедова<sup>1</sup>, Е.В. Кокорина<sup>1</sup>,  
П.К. Яблонский<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт пульмонологии, Москва

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет

## Informative value of submaximal parameters of cardiopulmonary exercise test in assessing functional reserve in patients with pulmonary tuberculosis

U. Matveeva<sup>1</sup>, L. Kiryukhina<sup>1,2</sup>, N. Nefedova<sup>1</sup>, E. Kokorina<sup>1</sup>, P. Yablonskiy<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg Scientific Research Institute of Phthisiopulmonology

<sup>2</sup>Pulmonology Scientific Research Institute, Moscow

<sup>3</sup>St. Petersburg State University

© Коллектив авторов, 2026 г.

### Резюме

**Введение.** Туберкулез легких (ТЛ) и рак легкого (РЛ) часто требуют резекционных вмешательств, исход которых во многом определяется функциональным резервом дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Стандартом его оценки является кардиопульмональное нагрузочное тестирование (КПНТ) с измерением максимального потребления кислорода, однако проведение теста до истинного максимума нередко затруднено, что повышает значение субмаксимальных показателей. **Цель исследования:** оценка информативности потребления кислорода на уровне анаэробного порога ( $VO_2$ -AT) и наклона зависимости вентиляции от продукции углекислого газа ( $VE/VCO_2$ -slope) для оценки функционального резерва и прогнозирования максимального потребления кислорода у больных ТЛ и РЛ. **Материалы и методы исследования.** Проведено

одноцентровое сравнительное исследование, включившее 546 пациентов, из них 377 с хирургическими формами ТЛ и 169 с РЛ. Всем выполнено стандартное исследование функции внешнего дыхания и КПНТ по протоколу ступенчато возрастающей нагрузки. Анализировали максимальное потребление кислорода на пике нагрузки ( $VO_2$ peak),  $VO_2$ -AT и  $VE/VCO_2$ -slope. Оценивали корреляции, линейные регрессионные модели, ошибки прогноза и согласие методов. **Результаты.**  $VO_2$ -AT продемонстрировало сильную связь с  $VO_2$ peak и наибольшую предсказательную способность в обеих клинических группах, обеспечивая умеренную точность количественного прогноза при минимальном систематическом смещении.  $VE/VCO_2$ -slope имел значимую, но менее тесную связь с  $VO_2$ peak и уступал  $VO_2$ -AT в точности прогнозирования. Ошибки расчета максимального потребления кислорода

по субмаксимальным показателям были выше у больных туберкулезом легких, особенно при относительно высоких значениях  $\text{VO}_2\text{peak}$ . **Заключение.**  $\text{VO}_2\text{-AT}$  может использоваться как основной субмаксимальный маркер функционального резерва у больных ТЛ и РЛ, особенно при невозможности проведения теста до истинного максимума, с осторожной интерпретацией результатов у функционально сохраненных пациентов.

**Ключевые слова:** туберкулез легких, рак легкого, кардиопульмональное нагрузочное тестирование, предоперационная оценка, функциональный резерв, максимальное потребление кислорода, анаэробный порог,  $\text{VE/VCO}_2\text{-slope}$

### Summary

Pulmonary tuberculosis (PT) and lung cancer (LC) frequently require resection, the outcomes of which are largely determined by the functional reserve of the respiratory and cardiovascular systems. The gold standard for assessing this reserve is cardiopulmonary exercise testing (CPET) with measurement of maximal oxygen consumption; however, achieving a true maximal test is often difficult, which increases the importance of submaximal indices. The aim of this study was to evaluate the informativeness of oxygen consumption at the anaerobic threshold ( $\text{VO}_2\text{-AT}$ ) and the slope of the ventilation-to-carbon dioxide output relationship ( $\text{VE/VCO}_2\text{ slope}$ ) for as-

sessing functional reserve and predicting maximal oxygen consumption in patients with PT and LC. A single-center comparative study was conducted, including 546 patients: 377 with surgical forms of PT and 169 with LC. All patients underwent standard pulmonary function testing and CPET using an incremental workload protocol. Peak oxygen consumption ( $\text{VO}_2\text{peak}$ ),  $\text{VO}_2\text{-AT}$ , and the  $\text{VE/VCO}_2\text{ slope}$  were analyzed. Correlations, linear regression models, prediction errors, and correlation between the methods were assessed. Results:  $\text{VO}_2\text{-AT}$  demonstrated a strong association with  $\text{VO}_2\text{peak}$  and the highest predictive ability in both clinical groups, yielding moderate accuracy of quantitative prediction with minimal systematic bias. The  $\text{VE/VCO}_2\text{ slope}$  showed a significant but weaker relationship with  $\text{VO}_2\text{peak}$  and was inferior to  $\text{VO}_2\text{-AT}$  in predictive accuracy. Errors in estimating maximal oxygen consumption from submaximal indices were greater in patients with pulmonary tuberculosis, especially at relatively high  $\text{VO}_2\text{peak}$  values. Conclusion:  $\text{VO}_2\text{-AT}$  can serve as the primary submaximal marker of functional reserve in PT and LC patients, particularly when a true maximal test cannot be performed, with cautious interpretation of results in functionally preserved individuals.

**Keywords:** pulmonary tuberculosis, lung cancer, cardiopulmonary exercise testing, preoperative assessment, functional reserve, peak oxygen uptake, anaerobic threshold,  $\text{VE/VCO}_2\text{ slope}$

### Введение

Туберкулез легких и рак легкого остаются одними из ведущих причин заболеваемости и смертности, связанных с патологией органов дыхания [1–3]. Значительная часть пациентов с деструктивными формами туберкулеза и локализованным раком легкого рассматриваются как кандидаты для хирургического лечения, позволяющего достичь излечения или существенного увеличения продолжительности жизни [4–8]. При этом результат оперативного вмешательства в значительной степени определяется исходным функциональным резервом сердечно-сосудистой и дыхательной систем, что обуславливает необходимость его объективной количественной оценки на этапе предоперационного обследования.

Кардиопульмональное нагрузочное тестирование (КПНТ) в настоящее время рассматривается как «золотой стандарт» оценки толерантности к физической нагрузке и интегрального функционального резерва у пациентов с заболеваниями легких и сердечно-сосудистой системы. Максимальное потребление кислорода ( $\text{VO}_2\text{peak/VO}_2\text{max}$ ), определяемое по данным КПНТ, ассоциировано с риском послеоперационных

осложнений и летальности при резекционных вмешательствах на легких и широко используется при стратификации операционного риска и выборе объема хирургического вмешательства [9–11].

Однако проведение теста до истинного максимума не всегда возможно у пациентов с тяжелой коморбидностью, выраженными вентиляционными нарушениями, ограниченной мотивацией или риском неблагоприятных событий во время нагрузки [12]. В реальной клинической практике значительная часть пациентов прекращает тест на субмаксимальном уровне по причине нарастающей одышки, утомления периферических мышц или субъективного дискомфорта. В этих условиях прямое использование  $\text{VO}_2\text{peak}$  для оценки функционального резерва затруднено, что повышает значение субмаксимальных показателей КПНТ, потенциально позволяющих косвенно оценивать максимальные возможности системы транспорта кислорода без достижения предельной нагрузки.

Одним из наиболее распространенных субмаксимальных параметров является потребление кислорода на уровне анаэробного порога ( $\text{VO}_2\text{-AT}$ ). Анаэробный порог отражает переход к преимущественно анаэробному метаболизму в работающих мышцах и

соответствует нагрузке, которую пациент способен переносить длительно без выраженного дискомфорта.  $\text{VO}_2\text{-AT}$  тесно связан с  $\text{VO}_2\text{peak}$  и отражает устойчивый уровень нагрузки, при котором энергоснабжение преимущественно обеспечивается аэробными механизмами. Ряд исследований показал хорошую воспроизводимость  $\text{VO}_2\text{-AT}$  при повторных КПНТ с коэффициентом вариации порядка 3–5%, сопоставимым или лучшим, чем у  $\text{VO}_2\text{peak}$  [13, 14]. Показана прогностическая значимость  $\text{VO}_2\text{-AT}$  в отношении выживаемости и риска осложнений у больных с хроническими заболеваниями легких и сердечно-сосудистой системы [10]. При этом  $\text{VO}_2\text{-AT}$  относится к безопасным субмаксимальным уровням нагрузки и в большинстве случаев достижим даже у пациентов с тяжелыми функциональными ограничениями.

Другим важным интегральным субмаксимальным показателем является наклон зависимости вентиляции от продукции углекислого газа ( $\text{VE}/\text{VCO}_2\text{-slope}$ ). Этот показатель отражает эффективность вентиляции и степень вентиляционно-перфузионного несоответствия и давно зарекомендовал себя как мощный прогностический маркер при хронической сердечной недостаточности и хронических заболеваниях легких [11, 15–18]. Повышение  $\text{VE}/\text{VCO}_2\text{-slope}$  ассоциируется с более тяжелым течением заболевания, худшей переносимостью нагрузки и неблагоприятным прогнозом. В отличие от  $\text{VO}_2\text{peak}$ , оценка  $\text{VE}/\text{VCO}_2\text{-slope}$  возможна даже при относительно раннем прекращении теста, так как отражает устойчивую взаимосвязь между вентиляцией и выделением  $\text{CO}_2$ , независимо от режима тестирования с физической нагрузкой, что делает его особенно ценным у пациентов, не достигающих максимальных нагрузок.

Оба субмаксимальных показателя информативны, но отражают разные аспекты реакции на нагрузку (метаболический порог и эффективность вентиляции). Большинство работ, посвященных этим параметрам КПНТ, выполнено у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ), интерстициальными заболеваниями легких и хронической сердечной недостаточностью, а также у больных раком легкого на этапе предоперационной оценки. Показано, что как  $\text{VO}_2\text{-AT}$ , так и  $\text{VE}/\text{VCO}_2\text{-slope}$  могут использоваться для стратификации риска и косвенной оценки функционального резерва в этих когортах. Вместе с тем данные о сравнительной информативности различных субмаксимальных показателей КПНТ у больных с хирургическими формами туберкулеза легких крайне ограничены.

Туберкулез легких характеризуется сочетанием деструктивных изменений паренхимы, бронхолегочных деформаций, обструкции и рестрикции, длительным течением с выраженной системной воспалительной реакцией и нередко лекарственной устойчивостью

возбудителя. Эти особенности могут приводить к иному характеру вентиляционно-перфузионных нарушений и адаптационных реакций на нагрузку по сравнению с больными раком легкого, у которых структурные изменения чаще носят локальный характер. В связи с этим результаты, полученные в популяциях пациентов с ХОБЛ или раком легкого, не могут быть автоматически экстраполированы на больных туберкулезом легких.

В доступной литературе практически отсутствуют исследования, направленно сравнивающие информативность субмаксимальных параметров КПНТ, в частности  $\text{VO}_2\text{-AT}$  и  $\text{VE}/\text{VCO}_2\text{-slope}$ , в оценке функционального резерва у больных туберкулезом легких и раком легкого. Неясно, какие из этих параметров в наибольшей степени согласованы с максимальным потреблением кислорода и позволяют количественно прогнозировать  $\text{VO}_2\text{peak}$  в ситуациях, когда проведение теста до истинного максимума затруднительно или небезопасно.

## Цель исследования

Оценка информативности субмаксимальных параметров кардиопульмонального нагрузочного тестирования — потребления кислорода на уровне анаэробного порога ( $\text{VO}_2\text{-AT}$ ) и наклона зависимости вентиляции от продукции углекислого газа ( $\text{VE}/\text{VCO}_2\text{-slope}$ ) — в оценке функционального резерва у больных туберкулезом легких и раком легкого, а также сравнение степени их согласия с максимальным потреблением кислорода ( $\text{VO}_2\text{peak}$ ) и точности прогнозирования  $\text{VO}_2\text{peak}$  по данным субмаксимальной нагрузки в двух клинических группах.

## Материалы и методы исследования

Проведено одноцентровое сравнительное исследование на базе Торакального центра ФГБУ «СПб НИИФ» Минздрава России (2015–2025). Включали пациентов 18–75 лет с верифицированным туберкулезом легких (ТЛ) или раком легкого (РЛ), имеющих показания к резекционному вмешательству и прошедших кардиопульмональное нагрузочное тестирование (КПНТ). Не включали больных с противопоказаниями к нагрузочным тестам, сочетанием активного ТЛ и РЛ и при отказе от участия. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «СПб НИИФ» Минздрава России (протокол № 101 от 20.12.2023), все пациенты подписали информированное согласие.

В анализ вошли 546 пациентов: 377 с хирургическими формами ТЛ и 169 с РЛ. Среди больных ТЛ 263 пациента (69,8%) с фиброзно-кавернозным туберкулезом, 66 (17,5%) с кавернозным туберкулезом, 47 (12,5%) с туберкулемами, 1 пациент (0,2%) с цирротическим

туберкулезом. Бактериовыделение на момент установления диагноза наблюдалось у всех пациентов. Лекарственная чувствительность МБТ сохранялась у 108 пациентов (28,7%), у 121 (32,1%) выявлена множественная лекарственная устойчивость (ЛУ), у 123 (32,6%) — широкая ЛУ, у 25 (6,6%) — другие виды ЛУ. Длительность заболевания до 1 года — 104 пациента (27,6%), от 1 до 5 лет — 145 (38,5%), более 5 лет — 128 пациентов (33,9%). Распространенность поражения в пределах 1–2 сегментов была у 38 пациентов (10,1%), в пределах одной доли — у 121 (32,1%), поражено все легкое у 98 (26,0%), оба легких — у 120 (31,8%).

Среди пациентов с РЛ у 118 (69,8%) выявлен периферический процесс, у 48 (28,4%) — центральный, у 3 (1,8%) — сочетание процессов. Гистологическая верификация по классификации ВОЗ (2021): аденокарцинома — 68 пациентов (40,2%), плоскоклеточный рак — 64 (37,9%), немелкоклеточный рак неутонченный — 19 (11,2%), типичный карциноид — 9 (5,3%), крупноклеточный рак — 4 (2,4%), эпителиально-миоэпителиальный рак — 1 (0,6%), мелкоклеточный — 3 (1,8%), низкодифференцированный рак — 1 (0,6%). Стадирование (TNM, 8-е издание, 2017): 1A1 — у 8 пациентов (4,7%), 1A2 — у 24 пациентов (14,2%), 1A3 — у 19 пациентов (11,3%), 1B — у 27 пациентов (16%), 2A — у 6 пациентов (3,6%), 2B — у 34 пациентов (20,1%), 3A — у 43 (25,4%), 3B — у 7 (4,1%), 3C — у 1 пациента (0,6%).

Обобщенные клинично-функциональные характеристики групп обследованных пациентов, вошедших в исследование, представлены в табл. 1. Больные с ТЛ были статистически значимо моложе и имели более низкий индекс массы тела (ИМТ) по сравнению с больными РЛ. В группе ТЛ чаще встречались рестриктивные и смешанные вентиляционные нарушения, для больных РЛ более характерны преимущественно обструктивные нарушения функции внешнего дыхания.

Исследование функции внешнего дыхания (ФВД) выполняли на установке MasterScreen Body Diffusion (VIASYS Healthcare, Германия) в соответствии с международными рекомендациями и российскими методическими документами [19–21] с использованием референсных значений Европейского сообщества угля и стали (European Coal and Steel Community, 1993). Оценивали объем форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ<sub>1</sub>), форсированную жизненную емкость легких (ФЖЕЛ), ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ, диффузионную способность легких по монооксиду углерода, скорректированную по гемоглобину (DL<sub>CO-Hb</sub>). Тип вентиляционных нарушений определяли при комплексном проведении спирометрии и бодиплетизмографии [22].

КПНТ проводили на системе Охусон Pro с велоэргометром (VIASYS Healthcare, Германия) по протоколу ступенчато возрастающей нагрузки (ступень 1 мин, индивидуальный прирост мощности, целевая

Таблица 1

### Характеристика пациентов с туберкулезом легких и раком легкого

| Показатель                           | Туберкулез легких (n=377)<br>Me [Q1-Q3] | Рак легкого (n=169)<br>Me [Q1-Q3] | p      |
|--------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|--------|
| Возраст, годы                        | 43 [34–51]                              | 65 [59–72]                        | <0,001 |
| М/Ж, абс. (%)                        | 265 (70)/112 (30)                       | 115 (68)/54 (32)                  | 0,823  |
| Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup> | 21,05 [19,15–24,07]                     | 26,12 [23,51–30,02]               | <0,001 |
| Никогда не курили, абс. (%)          | 66 (18)                                 | 28 (17)                           | 0,821  |
| Курильщики, абс. (%)                 | 265 (70)                                | 100 (59)                          | 0,249  |
| Экс-курильщики, абс. (%)             | 46 (12)                                 | 41 (24)                           | 0,003  |
| Стаж курения, пачка-лет              | 15[5–30]                                | 33,25 [10–49]                     | <0,001 |
| ОФВ <sub>1</sub> , %Д                | 74,3 [50,8–96,2]                        | 87,5 [75,1–102,8]                 | <0,001 |
| ФЖЕЛ, %Д                             | 89,8 [67,4–108,6]                       | 106,6 [88,2–119,8]                | <0,001 |
| ОФВ <sub>1</sub> /ФЖЕЛ               | 66,0 [56,5–73,9]                        | 63,4 [53,5–69,1]                  | 0,001  |
| Без нарушений вентиляции, абс. (%)   | 102 (27)                                | 36 (21)                           | 0,265  |
| Обструкция, абс. (%)                 | 203 (54)                                | 131 (78)                          | 0,012  |
| Рестрикция, абс. (%)                 | 13 (3)                                  | 0                                 | 0,016  |
| Смешанные нарушения, абс. (%)        | 59 (16)                                 | 2 (1)                             | <0,001 |
| DL <sub>CO-Hb</sub> , %Д             | 61,8 [52,2–73,8]<br>(n=260)             | 65,2 [50–76,4]<br>(n=81)          | 0,259  |

**Примечание:** ТЛ — туберкулез легких; РЛ — рак легких; Д — должная величина; данные представлены как медиана [25-й; 75-й перцентили]; p — уровень статистической значимости различий между показателями пациентов с ТЛ и РЛ, для межгрупповых сравнений использовали критерий Манна–Уитни (непараметрические данные) и  $\chi^2$  Пирсона (категориальные переменные).

продолжительность активного этапа 8–12 мин). Осуществляли непрерывный мониторинг вентиляции, газообмена, 12-канальной ЭКГ, артериального давления и сатурации кислорода. Тест прекращали при достижении предельных субъективных возможностей пациента или при появлении критериев досрочного прекращения по международным рекомендациям [23, 24]. Анализировали: потребление кислорода на пиковой нагрузке ( $VO_{2peak}$ ), мл/кг/мин и % должной величины (%Д); потребление кислорода на уровне анаэробного порога ( $VO_{2-AT}$ ), мл/кг/мин и % от должной  $VO_{2peak}$ ; наклон зависимости минутной вентиляции (VE) от продукции углекислого газа ( $VCO_2$ ) —  $VE/VCO_{2-slope}$ . Анаэробный порог определяли комбинированным методом (V-slope и дыхательные эквиваленты). Дополнительно оценивались разность между пиковым потреблением кислорода и потреблением кислорода на уровне анаэробного порога:

а)  $\Delta VO_{2-AT}$ , мл/мин/кг =  $VO_{2peak} - VO_{2-AT}$ ;

б)  $\Delta VO_{2-AT}$ , % =  $(VO_{2peak} - VO_{2-AT}) / VO_{2peak} \times 100$ .

$VE/VCO_{2-slope}$  рассчитывали как наклон линейной зависимости VE от  $VCO_2$  в диапазоне до достижения анаэробного порога.

Статистическую обработку выполняли с использованием Statistica 10 (StatSoft Inc.) и Microsoft Excel. Нормальность распределения проверяли по критерию Шапиро–Уилка. При нормальном распределении данные представляли как  $M \pm SD$ , при отклонении от нормального как Me [Q1–Q3]. Для межгрупповых сравнений применяли U-критерий Манна–Уитни и  $\chi^2$  Пирсона. Различия считали значимыми при  $p < 0,05$ . Взаимосвязь

субмаксимальных и максимальных показателей КПНТ оценивали по коэффициентам корреляции Пирсона/Спирмена ( $VO_{2peak}$  vs  $VO_{2-AT}$ ,  $VO_{2peak}$  vs  $VE/VCO_{2-slope}$ ). Сравнение коэффициентов корреляции между группами выполнялось с использованием z-преобразования Фишера. Для оценки точности субмаксимальной оценки  $VO_{2peak}$  проводили линейную регрессию с  $VO_{2-AT}$  в качестве предиктора  $VO_{2peak}$  в группах ТЛ и РЛ. Расчетную величину обозначали  $VO_{2peak\_pred}$ , определяли  $R^2$ , стандартную ошибку регрессии и p. Абсолютную и относительную ошибки прогноза вычисляли по формулам:

$Error = VO_{2peak} - VO_{2peak\_pred}$ , |Error|, мл/кг/мин;

$Error\% = (VO_{2peak} - VO_{2peak\_pred}) / VO_{2peak} \times 100\%$ .

Согласие между измеренным и расчетным  $VO_{2peak}$  оценивали методом Бланда–Алмана. Для каждой модели рассчитывались среднее смещение (bias), стандартное отклонение разницы (SD) и пределы согласия (limits of agreement, LOA), определяемые как:  $LOA = bias \pm 1,96 \times SD$ . Наличие пропорционального смещения проверяли по наклону линейной регрессии разности ( $VO_{2peak} - VO_{2peak\_pred}$ ) на среднее двух значений.

## Результаты исследования

Максимальные и субмаксимальные показатели КПНТ в группах пациентов с ТЛ и РЛ представлены в табл. 2. У пациентов с ТЛ потребление кислорода на пике нагрузки и на анаэробном пороге, нормированные на кг массы тела, были выше, чем у больных РЛ

Таблица 2

**Максимальные и субмаксимальные показатели кардиопульмонального теста у больных туберкулезом легких и раком легкого**

| Параметры                      | Туберкулез легких (n=377)         | Рак легкого (n=169)               | p      |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------|
|                                | M±SD<br>Me [Q1–Q3]<br>min — max   |                                   |        |
| $VO_{2peak}$ , мл/кг/мин       | 21,7 [18–26,6]<br>7,8–42,9        | 8,2 [15,8–20,4]<br>6,3–36,6       | <0,001 |
| $VO_{2peak}$ , %Д              | 66,23±16,7<br>26–119              | 80,06±17,13<br>24–128             | <0,001 |
| $VO_{2-AT}$ , мл/кг/мин        | 14,1 [11,4–16,5]<br>5,9–30,5      | 12,75 [10,9–15]<br>3,8–25,2       | 0,003  |
| $VO_{2-AT}$ , %Д $VO_{2peak}$  | 42,06±11,86<br>18,75–79,65        | 57,77±16,8<br>15,38–102,7         | <0,001 |
| $\Delta VO_{2-AT}$ , мл/мин/кг | 7,9 [5,4–11,8]<br>0–28,5          | 4,9 [3,3–7,5]<br>0–16,6           | <0,001 |
| $\Delta VO_{2-AT}$ , %         | 36,87 [28–46,94]<br>0–100         | 26,45 [19,35–37,32]<br>0–100      | <0,001 |
| $VE/VCO_{2-slope}$             | 29,67 [25,47–34,32]<br>8,32–67,53 | 30,9 [27,84–35,09]<br>19,39–62,66 | 0,006  |



( $p < 0,001$ ). При этом относительные показатели в % от должной величины  $VO_2\text{peak}$  были ниже в группе ТЛ, что отражает более выраженное снижение функционального резерва относительно возрастно-половых норм. Разность между  $VO_2\text{peak}$  и  $VO_2\text{-AT}$  ( $\Delta VO_2\text{-AT}$ ) как в абсолютных величинах (мл/кг/мин), так и в процентах была больше в группе ТЛ ( $p < 0,001$ ), что свидетельствует о большем «запасе» между субмаксимальной и пиковой толерантностью к нагрузке. Наклон  $VE/VCO_2\text{-slope}$  оказался статистически значимо ниже у больных ТЛ, чем у пациентов с РЛ ( $p = 0,006$ ).

Проведен корреляционный анализ взаимосвязи пикового потребления кислорода и субмаксимальных параметров и сравнение корреляций ( $z$  по Фишеру). В обеих группах  $VO_2\text{peak}$  демонстрировал сильную прямую корреляцию с  $VO_2\text{-AT}$  ( $r = 0,67$  для ТЛ и  $r = 0,64$  для РЛ,  $p < 0,05$ ). Различия коэффициентов корреляции между группами по  $z$ -преобразованию Фишера были статистически незначимы ( $p > 0,05$ ), что указывает на сопоставимую степень связи  $VO_2\text{-AT}$  с  $VO_2\text{peak}$  при ТЛ и РЛ (табл. 3).

$VE/VCO_2\text{-slope}$  имел значимую обратную корреляцию с  $VO_2\text{peak}$  во всех подгруппах ( $p < 0,05$ ), одна-

ко значение  $r$  по модулю было ниже, чем для  $VO_2\text{-AT}$ . Сравнение коэффициентов корреляции между ТЛ и РЛ по  $z$  Фишера не выявило статистически значимых различий, за исключением связи  $VO_2\text{peak}$  (мл/кг/мин) с  $VE/VCO_2\text{-slope}$ , где различие достигло статистической значимости ( $p = 0,019$ ).

Для прогнозирования максимального потребления кислорода по субмаксимальным показателям был проведен линейный регрессионный анализ. Результат показал, что  $VO_2\text{-AT}$  продемонстрировал наибольшую предсказательную способность в отношении  $VO_2\text{peak}$  в обеих клинических группах. Коэффициент детерминации составил 0,47 как для пациентов с ТЛ, так и для больных РЛ, то есть около 47% вариальности  $VO_2\text{peak}$  объяснялось вариациями  $VO_2\text{-AT}$  (табл. 4).

На основе полученных моделей были построены уравнения для расчета  $VO_2\text{peak}$  по  $VO_2\text{-AT}$ :

- для пациентов с ТЛ:  $VO_2\text{peak}_{\text{pred}} = 7,05 + 1,11 \times VO_2\text{-AT}$ ;
- для пациентов с РЛ:  $VO_2\text{peak}_{\text{pred}} = 8,23 + 0,78 \times VO_2\text{-AT}$ .

Таблица 3

#### Сравнение корреляций ( $z$ по Фишеру) субмаксимальных и максимальных показателей

| Показатель                                                        | ТЛ (n=377) | РЛ (n=169) | z     | p     |
|-------------------------------------------------------------------|------------|------------|-------|-------|
|                                                                   | r          | r          |       |       |
| $VO_2\text{peak}$ , мл/кг/мин vs $VO_2\text{-AT}$ , мл/кг/мин     | 0,67*      | 0,64*      | 0,56  | 0,575 |
| $VO_2\text{peak}$ , %Д vs $VO_2\text{-AT}$ , %Д $VO_2\text{peak}$ | 0,69*      | 0,72*      | -0,63 | 0,529 |
| $VO_2\text{peak}$ , мл/кг/мин vs $VE/VCO_2\text{-slope}$          | -0,5*      | -0,32*     | 12,34 | 0,019 |
| $VO_2\text{peak}$ , %Д vs $VE/VCO_2\text{-slope}$                 | -0,36*     | -0,25*     | -1,31 | 0,190 |

Примечание: r — коэффициент корреляции Спирмена; \*  $p < 0,05$ . Если  $|z| \leq 1,96$  — различия статистически незначимы.

Таблица 4

#### Параметры линейных моделей прогнозирования максимального потребления кислорода по $VO_2$ на уровне анаэробного порога в группах пациентов с туберкулезом легких и раком легких

| Группа | Показатель                   | a    | b    | R <sup>2</sup> | SE   | p      |
|--------|------------------------------|------|------|----------------|------|--------|
| Т      | $VO_2\text{-AT}$ , мл/кг/мин | 7,05 | 1,11 | 0,47           | 4,44 | <0,001 |
| РЛ     | $VO_2\text{-AT}$ , мл/кг/мин | 8,23 | 0,78 | 0,47           | 3,02 | <0,001 |

Примечание: a — свободный член; b — коэффициент регрессии; R<sup>2</sup> — коэффициент детерминации; SE — стандартная ошибка.

Таблица 5

#### Сравнение ошибок предсказания $VO_2\text{peak}$ по субмаксимальным показателям в группах пациентов с туберкулезом легких и раком легких

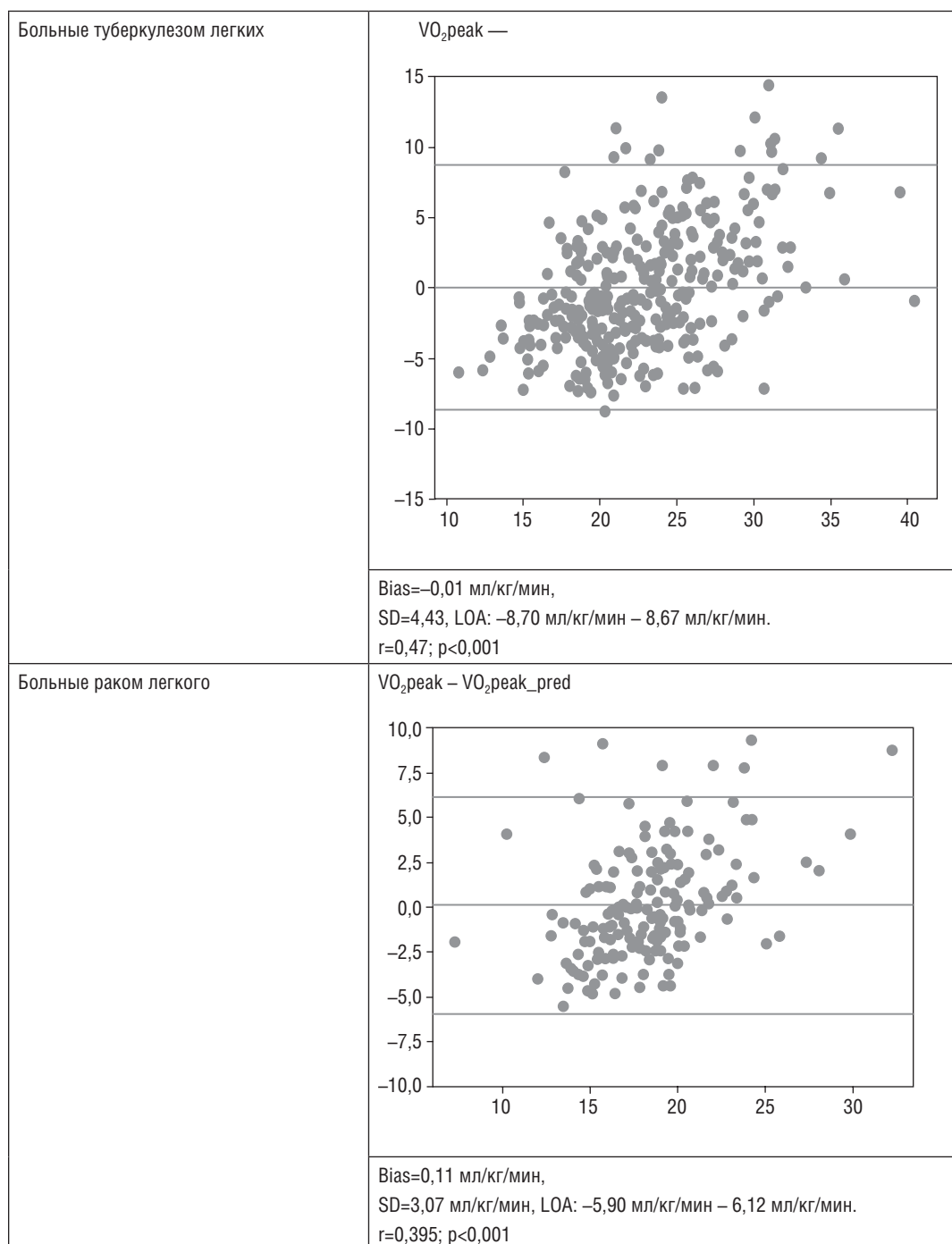
| Показатель                              | Туберкулез легких (n=377) | Рак легкого (n=169) | p      |
|-----------------------------------------|---------------------------|---------------------|--------|
|                                         | Me [Q1–Q3]                |                     |        |
| lErrorl* VO <sub>2</sub> -AT, мл/кг/мин | 3,17 [1,57–5,27]          | 1,93 [1,01–3,19]    | <0,001 |
| lErrorl VO <sub>2</sub> -AT, %          | 15,15 [7,36–23,67]        | 11,00 [6,06–18,73]  | <0,001 |

\* |Error| — ошибка.

При сравнении ошибок прогнозирования  $VO_2\text{peak}$  по  $VO_2\text{-AT}$  абсолютная ( $|\text{Error}|$ ) и относительная ( $|\text{Error}|/\%$ ) ошибки были статистически значимо выше в группе ТЛ по сравнению с РЛ ( $p < 0,001$ ) для обоих показателей (табл. 5).

Анализ согласия по Бланд–Алтману показал минимальное среднее смещение между измеренным и рас-

четным  $VO_2\text{peak}$  в обеих группах ( $\text{bias} \approx 0$  мл/кг/мин). При этом пределы согласия были шире у пациентов с ТЛ (LOA от  $-8,70$  до  $8,67$  мл/кг/мин) по сравнению с больными РЛ (LOA от  $-5,90$  до  $6,12$  мл/кг/мин). В обеих группах выявлено статистически значимое пропорциональное смещение: величина ошибки увеличивалась по мере роста среднего  $VO_2\text{peak}$  (ТЛ:  $r = 0,47$ ;  $p < 0,001$ ; РЛ:  $r = 0,395$ ;  $p < 0,001$ ; рис. 1).



**Рис. 1.** Анализ согласия по Бланд–Алтману между измеренным и расчетным  $VO_2\text{peak}$  для  $VO_2\text{-AT}$  в группах пациентов с туберкулезом легких и раком легких. Bias — среднее смещение; SD — стандартное отклонение ошибок; LOA — пределы согласия ( $\text{bias} \pm 1,96 \text{ SD}$ )

## Обсуждение результатов

В настоящем исследовании проанализирована информативность субмаксимальных показателей кардиопульмонального нагрузочного тестирования — потребления кислорода на уровне анаэробного порога ( $\text{VO}_2\text{-AT}$ ) и наклона зависимости вентилиции от продукции углекислого газа ( $\text{VE}/\text{VCO}_2\text{-slope}$ ) — в оценке функционального резерва у больных туберкулезом легких и раком легкого. В качестве референсного параметра максимальной толерантности к физической нагрузке рассматривалось максимальное потребление кислорода, достигнутое на пике нагрузки ( $\text{VO}_2\text{peak}$ ).

Полученные результаты показали, что оба субмаксимальных показателя статистически значимо связаны с  $\text{VO}_2\text{peak}$  в обеих клинических группах. При этом наибольшую информативность продемонстрировал  $\text{VO}_2\text{-AT}$ : в группах туберкулеза легких и рака легкого отмечена сильная прямая корреляция с  $\text{VO}_2\text{peak}$ , а регрессионные модели с использованием  $\text{VO}_2\text{-AT}$  в качестве предиктора объясняли около половины вариабельности максимального потребления кислорода ( $R^2=0,47$ ). Относительно небольшие значения абсолютной и относительной ошибок прогнозирования, а также минимальное смещение в анализе согласия по Бланду–Алтману свидетельствуют о приемлемой точности ориентировочной оценки  $\text{VO}_2\text{peak}$  по  $\text{VO}_2\text{-AT}$  при проведении субмаксимального теста.

Эти данные согласуются с результатами исследований, выполненных у пациентов с хронической сердечной недостаточностью и хроническими заболеваниями легких, в которых  $\text{VO}_2\text{-AT}$  рассматривался как воспроизводимый и клинически значимый маркер функционального состояния и прогноза [13, 14]. Показанная в нашей работе сопоставимая предсказательная способность  $\text{VO}_2\text{-AT}$  в когортах больных туберкулезом легких и раком легкого расширяет область применения данного субмаксимального показателя на популяцию пациентов, рассматриваемых как кандидаты на резекционные вмешательства на легких.

Показатель  $\text{VE}/\text{VCO}_2\text{-slope}$ , напротив, имел значимую обратную корреляцию с  $\text{VO}_2\text{peak}$ , однако по силе связи и точности количественного прогноза максимального потребления кислорода уступал  $\text{VO}_2\text{-AT}$ . Это соответствует известным представлениям о  $\text{VE}/\text{VCO}_2\text{-slope}$  как интегральном маркере эффективности вентилиции и степени вентилиционно-перфузионного несоответствия, преимущественно ассоциированном с прогнозом и тяжестью заболевания, а не с абсолютным уровнем переносимости нагрузки [9, 11, 16]. Полученные результаты позволяют рассматривать  $\text{VE}/\text{VCO}_2\text{-slope}$  как дополнительный прогностический параметр при предоперационной оценке больных туберкулезом легких и раком легкого, для ориентировочной коли-

чественной оценки функционального резерва в единицах потребления кислорода более предпочтителен  $\text{VO}_2\text{-AT}$ . Это согласуется с результатами исследований у пациентов, готовящихся к лобэктомии и другим резекционным вмешательствам по поводу рака легкого, где более высокие значения  $\text{VE}/\text{VCO}_2\text{-slope}$  (порядка 35 и выше) ассоциировались с увеличением частоты кардиопульмональных осложнений и послеоперационной смертности и улучшали стратификацию риска при добавлении к  $\text{VO}_2\text{peak}$  [18, 25, 26].

Отдельного обсуждения заслуживают выявленные различия между группами туберкулеза легких и рака легкого. У пациентов с туберкулезом легких зарегистрированы более высокие значения  $\text{VO}_2\text{peak}$  и  $\text{VO}_2\text{-AT}$ , пересчитанные на килограмм массы тела, однако относительные показатели в процентах от должной величины были ниже, чем у больных раком легкого. Это отражает разные патофизиологические механизмы снижения толерантности к нагрузке [27–29]. У больных туберкулезом легких, несмотря на их более молодой возраст и меньший индекс массы тела, более выраженное снижение функционального резерва относительно референсных значений. Дополнительно в группе туберкулеза отмечен более низкий  $\text{VE}/\text{VCO}_2\text{-slope}$  и большая разность между  $\text{VO}_2\text{peak}$  и  $\text{VO}_2\text{-AT}$ , что указывает на больший «запас» между субмаксимальной и пиковой толерантностью к нагрузке.

При анализе точности прогнозирования  $\text{VO}_2\text{peak}$  по  $\text{VO}_2\text{-AT}$  было установлено, что абсолютные и относительные ошибки в группе туберкулеза легких выше, чем у больных раком легкого, а пределы согласия по Бланду–Алтману шире. В обеих группах выявлено наличие пропорционального смещения: величина ошибки увеличивалась по мере роста  $\text{VO}_2\text{peak}$ , то есть модели на основе  $\text{VO}_2\text{-AT}$  менее точны у пациентов с более высоким функциональным статусом. Более выраженный тренд ошибок у больных туберкулезом легких может быть обусловлен особенностями патофизиологии данного заболевания: длительным хроническим воспалением, сочетанием кавернозно-фиброзных изменений, рестриктивных и смешанных типов вентилиционных нарушений, неоднородностью поражения паренхимы и выраженными бронхолегочными деформациями. Такая гетерогенность структурных и функциональных изменений может приводить к большей межиндивидуальной вариабельности реакций на нагрузку и снижать точность аппроксимации  $\text{VO}_2\text{peak}$  по одиночному субмаксимальному показателю. У больных раком легкого, у которых поражение нередко носит более локализованный характер, связь между  $\text{VO}_2\text{-AT}$  и  $\text{VO}_2\text{peak}$  оказывается более однородной, что отражается в меньших ошибках и более узких пределах согласия.

Практическое значение проведенного исследования заключается в обосновании использования суб-



максимальных уровней нагрузки, соответствующих анаэробному порогу, для количественной оценки функционального резерва у пациентов с туберкулезом легких и раком легкого. Наши результаты укладываются в существующие подходы к предоперационной оценке функционального состояния у кандидатов на резекцию легкого, где максимальное потребление кислорода рассматривается как основной критерий стратификации риска, а значения  $VO_2\text{peak}$  менее 10 мл/кг/мин ассоциируются с высоким, а более 20 мл/кг/мин — с относительно низким риском резекционного вмешательства [9, 30]. В этом контексте показанная в нашем исследовании возможность ориентировочной оценки  $VO_2\text{peak}$  по  $VO_2\text{-AT}$  у больных туберкулезом легких и раком легкого дополняет существующие рекомендации и расширяет инструментарий функциональной стратификации риска, особенно у пациентов, не достигающих истинного максимума при проведении теста. В ситуациях, когда проведение теста до истинного максимума ограничено выраженными вентиляционными нарушениями, сопутствующей патологией, низкой мотивацией или повышенным операционным риском, оценка  $VO_2\text{-AT}$  может рассматриваться как приемлемая альтернатива прямому измерению  $VO_2\text{peak}$ . При этом наибольшая надежность субмаксимальной оценки ожидаема у пациентов с низким и умеренно сниженным  $VO_2\text{peak}$ ; у функционально сохраненных больных, особенно с туберкулезом легких, выявленное пропорциональное смещение диктует необходимость осторожной интерпретации расчетных значений и, при возможности, предпочтение прямому измерению  $VO_2\text{peak}$ .

Ограничениями настоящего исследования являются формирование выборки в специализированном торакохирургическом стационаре, что может ограничивать экстраполяцию полученных результатов

на более широкие популяции больных туберкулезом легких и раком легкого. Кроме того, выявленное пропорциональное смещение в моделях прогнозирования  $VO_2\text{peak}$  по  $VO_2\text{-AT}$ , особенно в группе туберкулеза, снижает точность субмаксимальной оценки функционального резерва у пациентов с относительно сохраненной толерантностью к нагрузке. Полученные регрессионные уравнения и пороговые значения требуют внешней валидации в независимых выборках.

## Заключение

Проведенное исследование показало, что у больных туберкулезом легких и раком легкого субмаксимальные показатели кардиопульмонального нагрузочного тестирования обладают разной информативностью в оценке функционального резерва. Потребление кислорода на уровне анаэробного порога ( $VO_2\text{-AT}$ ) является наиболее надежным субмаксимальным предиктором максимального потребления кислорода ( $VO_2\text{peak}$ ) и может использоваться для ориентировочной количественной оценки функционального резерва в ситуациях, когда выполнение теста до истинного максимума невозможно или небезопасно. Показатель  $VE/VCO_2\text{-slope}$ , несмотря на значимую связь с  $VO_2\text{peak}$ , играет вспомогательную роль и отражает преимущественно степень вентиляционно-перфузионного несоответствия и прогностический риск. Более высокая вариабельность и меньшая точность прогнозирования  $VO_2\text{peak}$  по  $VO_2\text{-AT}$  у больных туберкулезом легких, особенно при относительно сохраненной толерантности к нагрузке, диктуют необходимость осторожного использования субмаксимальных моделей и подчеркивают важность дальнейшей внешней валидации полученных уравнений в независимых выборках.

## Список литературы

1. World Health Organization. Global tuberculosis report 2025 [Internet]. Geneva: WHO; 2025. Available from: <http://www.who.int/teams/global-programme-on-tuberculosis-and-lung-health/tb-reports/global-tuberculosis-report-2025>.
2. Галкин В.Б., Стерликов С.А., Яблонский П.К. Тенденции развития эпидемической ситуации по туберкулезу во время и после пандемии COVID-19: Россия и СЗФО, 2020–2023 гг. Медицинский альянс 2024; 12 (3): 6–15. [Galkin V.B., Sterlikov S.A., Yablonskii P.K. Trends in the epidemiological situation of tuberculosis during and after the COVID-19 pandemic: Russia and the Northwestern Federal District, 2020–2023. Meditsinskiy Alyans 2024; 12 (3): 6–15 (In Russ.)]. doi: 10.36422/23076348-2024-12-3-6-15.
3. Злокачественные новообразования в России в 2024 году (заболеваемость) / под ред. А.Д. Каприна и др. Москва: МНИОИ им. П.А.Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2025. 178 с. [Malignant neoplasms in Russia in 2024 (morbidity). Ed. Kaprin A.D. et al. Moscow: P.A. Herten Moscow Oncology Research Institute — branch of «NMITs Radiologii» of the Ministry of Health of Russia; 2025; 178 p. (In Russ.)].
4. Яблонский П.К., Соколов Е.Г., Аветисян А.О., Васильев И.В. Роль торакальной хирургии в лечении туберкулеза легких (обзор литературы и собственные наблюдения). Медицинский альянс 2014 (3): 4–10. [Yablonskii P.K., Sokolovich E.G., Avetisyan A.O., Vasil'ev I.V. The role of thoracic surgery in the treatment of pulmonary tuberculosis (literature review and own experience). Meditsinskiy Alyans 2014 (3): 4–10 (In Russ.)].
5. Лактионов К.К., Артамонова Е.В., Борисова Т.Н. и др. Злокачественное новообразование бронхов и легкого. Современная онкология 2021; 23 (3): 369–402. [Laktionov K.K., Artamonova E.V., Borisova T.N. et al. Malignant neoplasms of the bronchi and lung. Sovremennaya Onkologiya 2021; 23 (3): 369–402 (In Russ.)]. doi: 10.26442/18151434.2021.3.201048.
6. Гиллер Д.Б., Саенко С.С., Герасимов А.Н. и др. Эффективность хирургического лечения МЛУ и ШЛУ деструктивного

- туберкулеза легких в отдаленный период. Медицинский альянс 2024; 12 (4): 45–54. [Giller D.B., Saenko S.S., Gerasimov A.N. et al. Effectiveness of surgical treatment of MDR and XDR destructive pulmonary tuberculosis in the long-term period 2024; Meditsinskiy Alyans 12 (4): 45–54 (In Russ.)]. doi: 10.36422/23076348-2024-12-4-45-54.
7. Романова М.И., Гайда А.И., Абрамченко А.В. и др. Эффективность хирургического лечения больных деструктивным туберкулезом легких (метаанализ). Туберкулез и болезни легких 2024; 102 (2): 52–61. [Romanova M.I., Gayda A.I., Abramchenko A.V. et al. Effectiveness of surgical treatment in patients with destructive pulmonary tuberculosis: a meta-analysis. Tuberkulez i Bolezni Legkikh 2024; 102 (2): 52–61 (In Russ.)].
  8. Yablonskii P.K., Kudriashov G.G., Avetisyan A.O. Surgical resection in the treatment of pulmonary tuberculosis. Thorac Surg. Clin. 2019; 29 (1): 37–46. doi: 10.1016/j.thorsurg.2018.09.003. PMID: 30454920.
  9. Piccioni A., Dorigo T., Giacomazzi A. et al. Cardiopulmonary exercise testing in preoperative evaluation of lung resection surgery — a review. Perioper Med. (Lond) 2020; 9: 37. doi: 10.1186/s13741-020-00168-y.
  10. Petrella F., Cara A., Cassina E.M. et al. Evaluation of preoperative cardiopulmonary reserve and surgical risk of patients undergoing lung cancer resection. Ther. Adv. Respir. Dis. 2024; 18: 17534666241292488. doi: 10.1177/17534666241292488.
  11. Brunelli A., Hardavella G., Huber R.M. et al. European Respiratory Society and European Society of Thoracic Surgeons clinical practice guideline on fitness for curative intent treatment of lung cancer. Eur. Respir. J. 2025; 66: 2500156. doi: 10.1183/13993003.00156-2025.
  12. Келексаев П.А., Черный А.В. Возможности кардиопульмонального нагрузочного тестирования у пациентов с ожирением и хронической сердечной недостаточностью. Лечебное дело 2019. № 1. С. 87–93. [Kelekhseev P.A., Cherniy A.V. Possibilities of cardiopulmonary exercise testing in patients with obesity and chronic heart failure. Lechebnoe Delo 2019; (1): 87–93 (In Russ.)]. doi: 10.24411/2071-5315-2019-12094.
  13. Kaczmarek S., Habedank D., Obst A. et al. Interobserver variability of ventilatory anaerobic threshold in asymptomatic volunteers. Multidiscip Respir. Med. 2019; 14: 20. doi: 10.1186/s40248-019-0183-6.
  14. Jakovljevic D.G., Seferovic P.M., Nunan D. et al. Reproducibility of cardiac power output and other cardiopulmonary exercise indices in patients with chronic heart failure. Clin. Sci (Lond) 2012; 122(4): 175–81. doi: 10.1042/CS20110355.
  15. Какучая Т.Т., Джитава Т.Г., Ковалев Д.В., Закарая Н.Э. Значение субмаксимальных переменных кардиопульмонального тестирования в исследовании функционального резерва у взрослых больных с врожденными пороками сердца. Креативная кардиология 2022; 16 (1): 38–48. [Kakuchaya T.T., Dzhitava T.G., Kovalev D.V., Zakaraya N.E. The value of submaximal cardiopulmonary exercise test variables in assessing functional reserve in adults with congenital heart disease. Kreativnaya Kardiologiya 2022; 16 (1): 38–48 (In Russ.)]. doi: 10.24022/1997-3187-2022-16-1-38-48.
  16. Poggio R., Arazi H.C., Giorgi M., Miriuka S.G. Prediction of severe cardiovascular events by VE/VCO<sub>2</sub> slope versus peak VO<sub>2</sub> in systolic heart failure: a meta-analysis of the published literature. Am. Heart J. 2010; 160: 1004–1014. doi: 10.1016/j.ahj.2010.08.037.
  17. Shen Y., Zhang X., Ma W. et al. VE/VCO<sub>2</sub> slope and its prognostic value in patients with chronic heart failure. Exp. Ther. Med. 2015; 9 (4): 1407–1412. doi: 10.3892/etm.2015.2267.
  18. Labbé A., Cherif H., Bubenheim M. et al. Minute ventilation to carbon dioxide slope and risk stratification before lung cancer resection. Eur. J. Cardiothorac Surg. 2024; 65 (4): ead390. doi: 10.1093/ejcts/ead390.
  19. Каменева М.Ю., Черняк А.В., Айсанов З.Р. и др. Спирометрия: методическое руководство по проведению исследования и интерпретации результатов. Пульмонология 2023; Т. 33 (3): 307–340. [Kameneva M. Yu., Chernyak A.V., Aysanov Z.R. et al. Spirometry: methodological guideline for performing the test and interpreting the results. Pul'monologiya 2023; 33 (3): 307–340 (In Russ.)]. doi: 10.18093/0869-0189-2023-33-3-307-340.
  20. Graham B.L., Brusasco V., Burgos F. et al. 2017 ERS/ATS standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung. Eur. Respir. J. 2017; 49: 1600016. doi: 10.1183/13993003.00016-2016.
  21. Wanger J., Clausen J.L., Coates A. et al. Standardisation of the measurement of lung volumes. Eur. Respir. J. 2005; 26 (3): 511–522. doi: 10.1183/09031936.05.00035005.
  22. Stanojevic S., Kaminsky D.A., Miller M.R. et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. Eur. Respir. J. 2022; 60: 2101499. doi: 10.1183/13993003.01499-2021.
  23. Balady G.J., Arena R., Sietsema K. et al. Clinician's guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. Circulation 2010; 122 (Suppl. 2): S191–S225. doi: 10.1161/CIR.0b013e3181e52e69.
  24. Radtke T., Crook S., Kaltsakas G. et al. ERS statement on standardisation of cardiopulmonary exercise testing in chronic lung diseases. Eur. Respir. Rev 2019; 28 (154): 180101. doi: 10.1183/16000617.0101-2018.
  25. Verduyn S.C., Weenink R.P., Vercoulen J.H. et al. Ventilatory efficiency in combination with peak oxygen uptake improves risk stratification in patients undergoing lobectomy. Respiration 2022; 101 (5): 421–430. doi: 10.1159/000521665.
  26. Brunelli A., Kim A.W., Berger K.I., Addrizzo-Harris D.J. Risk stratification in lung resection. J. Thorac Dis 2016; 8 (Suppl. 11): S998–S1007. doi: 10.21037/jtd.2016.11.99.
  27. Jones L.W., Eves N.D., Haykowsky M. et al. Exercise intolerance in cancer and the role of exercise therapy to reverse dysfunction. Lancet Oncol. 2009; 10 (6): 598–605. doi: 10.1016/S1470-2045(09)70031-2.
  28. Кирюхина Л.Д., Нефедова Н.Г., Кокорина Е.В. и др. Патофизиологические механизмы ограничения толерантности к нагрузке у больных туберкулезом легких. Туберкулез и социально значимые заболевания 2021; 1: 14–20. [Kiryukhina L.D., Nefedova N.G., Kokorina E.V. et al. Pathophysiological mechanisms of exercise intolerance in patients with pulmonary tuberculosis. Tuberkulez i Sotsial'no Znachimye Zaboлевaniya 2021; 12 (1): 14–20 (In Russ.)]. doi: 10.54921/2413-0346-2021-12-1-14-20.
  29. Кирюхина Л.Д., Матвеева У.И., Полякова Т.Ю., Яблонский П.К. Диффузионная способность легких и толерантность к физической нагрузке при хирургическом туберкулезе и раке легкого при сопоставлении снижения объема форсированного выдоха за первую секунду. РМЖ 2026; 1: 29–34. [Kiryukhina L.D., Matveeva U.I., Polyakova T.Yu., Yablonskiy P.K. Pulmonary diffusing capacity and exercise tolerance in patients with surgical tuberculosis versus lung cancer presenting with equivalent FEV1 impairment. RMJ 2026; 1: 29–34 (In Russ.)]. doi: 10.32364/2225-2282-2026-1-6.
  30. Brunelli A., Charloux A., Bolliger C.T. et al. ERS/ESTS clinical guidelines on fitness for radical therapy in lung cancer patients (surgery and chemo-radiotherapy). Eur. Respir. J. 2009; 34(1): 17–41. doi: 10.1183/09031936.00184308.

Поступила в редакцию: 29.05.2026 г.

**Сведения об авторах:**

*Матвеева Ульяна Игоревна* — аспирант ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: LokhmatovaUl@mail.ru; ORCID 0009-0008-4636-5263;

*Кирюхина Лариса Дмитриевна* — кандидат медицинских наук, заведующая отделением функциональной и ультразвуковой диагностики ФГБУ «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства России; 115682, Москва, Ореховый бульвар, д. 28, стр. 10; врач отделения функциональной диагностики ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: kiryuhina\_larisa@mail.ru; ORCID 0000-0001-6550-817X;

*Нефедова Наталья Григорьевна* — кандидат медицинских наук, заведующая отделением функциональной диагностики ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр-т, д. 2–4; e-mail: kulakovang@mail.ru; ORCID 0000-0002-3294-8440;

*Кокорина Елена Васильевна* — кандидат медицинских наук, врач отделения функциональной диагностики ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: alae.majoris@yandex.ru; ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0588-5288>;

*Яблонский Петр Казимирович* — доктор медицинских наук, профессор, директор ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036; Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; заведующий кафедрой госпитальной хирургии медицинского факультета ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»; 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д. 8а; e-mail: info@spbniif.ru; ORCID 0000-0003-4385-9643.