Респираторная медицина
2026, Т.2, №1, с. 60–65
https://doi.org/10.17116/respmed2026201160

Journal of Respiratory Medicine
2026, Vol.2, No.1, pp. 60–65
https://doi.org/10.17116/respmed2026201160

# Аспекты применения кардиореспираторного нагрузочного теста в пульмонологической практике. (Обзор литературы)

© Галина Львовна Игнатова, Владимир Николаевич Антонов, Дарья Игоревна Жукова

Институт пульмонологии ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, Челябинск, Россия

**РЕЗЮМЕ**

Обзорная статья посвящена вопросам применения кардиореспираторного нагрузочного тестирования (КРНТ) в разных областях внутренних болезней с акцентом на пульмонологическую практику. КРНТ обеспечивает неинвазивную и динамичную интегративную оценку реакций на физические упражнения с участием дыхательной, сердечно-сосудистой и опорно-двигательной систем. КРНТ считается золотым стандартом в оценке кардиореспираторной функции и чрезвычайно полезно при диагностическом исследовании необъяснимой непереносимости физических нагрузок. В статье приводится основной алгоритм оценки теста на основе анализа 9-панельного графика полученных результатов. Помимо показаний к проведению КРНТ освещены также вопросы противопоказаний. Сделаны выводы о том, что сердечно-легочное нагрузочное тестирование — это комплексное обследование, направленное на уточнение симптомов пациента, дифференциацию основных патофизиологических механизмов и оценку сердечно-легочных нарушений, тяжести заболевания и прогноза. Стандартизация данных КРНТ может оптимизировать их доступность и улучшить индивидуальное ведение пациентов в широком спектре клинических контекстов. Знание основных показаний, применения и базовой интерпретации результатов КРНТ необходимо для использования потенциала теста и применения его основных преимуществ в клинической практике.

***Ключевые слова:*** *кардиореспираторный нагрузочный тест, девятипанельный график оценки, потребление кислорода, переносимость физических нагрузок.*

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:**

Игнатова Г.Л. — https://orcid.org/0000-0002-0877-6554
Антонов В.Н. — https://orcid.org/0000-0002-3531-3491
Жукова Д.И. — https://orcid.org/0009-0003-2937-222X
**Автор, ответственный за переписку:** Антонов В.Н. — e-mail: ant-vn@yandex.ru

**КАК ЦИТИРОВАТЬ:**

Игнатова Г.Л., Антонов В.Н., Жукова Д.И. Аспекты применения кардиореспираторного нагрузочного теста в пульмонологической практике. (Обзор литературы). *Респираторная медицина*. 2026;2(1):60–65. https://doi.org/10.17116/respmed2026201160

# Aspects of cardiorespiratory load test in pulmonological practice. (Literature review)

© G.L. Ignatova, V.N. Antonov, D.I. Zhukova

Institute of Pulmonology, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia

**ABSTRACT**

The review article is devoted to the application of the Cardiopulmonary exercise testing (CPET) in various fields of internal medicine, in particular with an emphasis on pulmonological practice. CPET provides a noninvasive and dynamic integrative assessment of exercise responses involving the respiratory, cardiovascular (CV), and musculoskeletal systems. It is considered the gold standard in the assessment of cardio-respiratory function and is extremely useful in the diagnostic study of unexplained exercise intolerance. The basic algorithm for evaluating the test is presented based on the analysis of a nine-panel graph of the results obtained. In addition to the indications for the CPET, issues and contraindications are highlighted. It is concluded that cardiopulmonary stress testing is a comprehensive examination aimed at clarifying the patient's symptoms, differentiating the main pathophysiological mechanisms, and assessing cardiopulmonary disorders, disease severity, and prognosis. Standardization of the data provided by the CPET can optimize their availability and improve individual patient management in a wide range of clinical contexts. Knowledge of the main indications, application, and basic interpretation of the results of CPET is necessary to harness its potential and apply its main advantages in clinical practice.

***Keywords:*** *cardiopulmonary exercise, nine-panel plot, oxygen consumption, physical activity tolerance.*

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

Ignatova G.L. — https://orcid.org/0000-0002-0877-6554
Antonov V.N. — https://orcid.org/0000-0002-3531-3491
Zhukova D.I. — https://orcid.org/0009-0003-2937-222X
**Corresponding author:** Antonov V.N. — e-mail: ant-vn@yandex.ru

**TO CITE THIS ARTICLE:**
Ignatova GL, Antonov VN, Zhukova DI. Aspects of cardiorespiratory load test in pulmonological practice. (Literature review). *Journal of Respiratory Medicine*. 2026;2(1):60–65. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/respmed2026201160

## Введение

Тесты с физической нагрузкой являются рутинными инструментами в клинической практике, предоставляя важную диагностическую информацию для врача [1]. Сочетание этих тестов с измерениями вентиляционного газообмена обеспечивает дополнительную информацию, что приводит к более точной количественной оценке и выявлению патофизиологических механизмов, ограничивающих физические нагрузки. Данный аспект имеет принципиальное значение в клинической практике для врачей многих специальностей, включая кардиологов, пульмонологов, онкологов, хирургию, неврологов, врачей спортивной медицины и реабилитологов [2].

Кардиореспираторное нагрузочное тестирование (КРНТ) обеспечивает неинвазивную и динамичную комплексную оценку реакций на физические нагрузки с участием дыхательной, сердечно-сосудистой и опорно-двигательной систем [3]. Тест считается «золотым стандартом» в оценке кардиореспираторной функции и актуален в диагностическом исследовании труднообъяснимой непереносимости физических нагрузок [4].

Несмотря на то что КРНТ рекомендуется многими профессиональными сообществами, тест все еще недостаточно используется по нескольким причинам, таким как сложность выполнения, необходимость дорогостоящего специального оборудования и отсутствие обученного персонала для интерпретации, отсутствие должной осведомленности практикующих врачей о полезности и доступности [5, 6].

### Условия проведения кардиореспираторного нагрузочного теста

Кардиореспираторное нагрузочное тестирование обычно проводят на электромагнитном эргометре, при этом каждый цикл занимает примерно 10 мин. Множество переменных поступают в экспресс-анализатор и пневмотахограф, выполняются дополнительная непрерывная регистрация электрокардиограммы (ЭКГ) в 12 отведениях, измерение $SpO_2$ и неинвазивный мониторинг артериального давления (НИМАД). Измерения производят в покое, во время цикла без нагрузки, педалирования с постоянно растущим сопротивлением и на этапе восстановления сразу после тренировки. Автоматически рассчитываются прогнозируемые нормальные значения для каждого конкретного пациента [7].

Обычно регистрируют следующие параметры:

— уровень работы (в ваттах);
— измерения метаболического газообмена: потребление кислорода ($O_2$), производство углекислого гала ($CO_2$) и коэффициент дыхательного обмена ($RER=CO_2/O_2$);
— вентиляционные измерения: насыщение кислородом артериальной крови ($SpO_2$), минутная вентиляция (VE), дыхательный объем (VT), частота дыхания (RR), вентиляционные эквиваленты для $O_2$ ($E/O_2$) и $CO_2$ ($E/CO_2$);
— сердечно-сосудистые переменные: частота сердечных сокращений (ЧСС), изменения сегмента *ST* на ЭКГ и НИМАД.

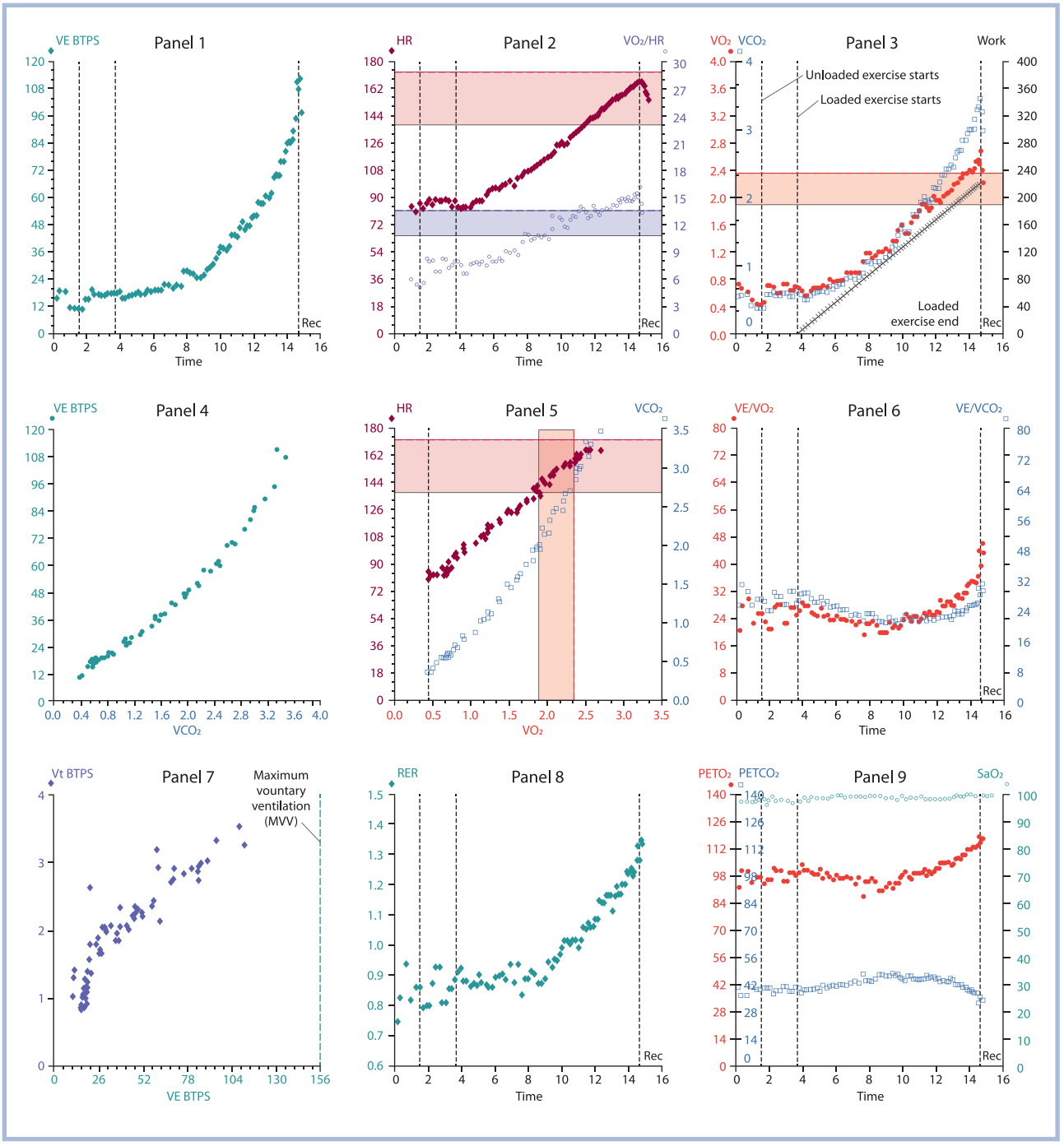
Эти данные представляют графически в стандартном формате, называемом 9-панельным графиком **(рисунок)** [8]. Основные измерения: BTPS — минутная вентиляция при нормальной температуре тела, давлении окружающей среды, насыщенное водяным паром (л·мин$^{-1}$); время (мин); ЧСС (HR) — частота сердечных сокращений (уд/мин);$VO_2$/HR — потребление кислорода/ЧСС, интерпретируемое как «кислородный пульс» (мл/удар ); $VO_2$ потребление кислорода (л·мин$^{-1}$); $VCO_2$ — объем углекислого газа (л·мин$^{-1}$); W — работа; $VE/VO_2$ — минутный объем вентиляции/потребление кислорода; $VE/VCO_2$ — минутный объем вентиляции/продукция углекислого газа (безразмерная величина); Vt BTPS — дыхательный объем при температуре тела и атмосферном давлении, насыщенном водяным паром (л·мин$^{-1}$); RER — коэффициент дыхательного обмена; $PETO_2$ — парциальное давление кислорода в конце выдоха (мм рт.ст.); $PETCO_2$ — парциальное давление углекислого газа в конце выдоха (мм рт.ст.); $SpO_2$ — сатурация кислорода (%); Rec — восстановление; MVV — максимальная произвольная вентиляция. На панелях 2 и 5 представлен диапазон 80—100% от максимальной прогнозируемой ЧСС; на панели 2 — диапазон 80—100% от максимального прогнозируемого «кислородного пульса»; на панелях 3 и 5 — прогнозируемый диапазон 80—100% от максимального прогнозируемого измеренного содержание $O_2$ в момент завершения испытания ($VO_2$peak). Три черные вертикальные линии обозначают начало упражнения без нагрузки, начало упражнения с нагрузкой и окончание упражнения с нагрузкой. Зеленая вертикальная пунктирная линия на панели 7 обозначает MVV. Сердечно-сосудистая система представлена панелями 2, 3 и 5; респираторная система — панелями 1, 4 и 7; в то время как панели 6, 8 и 9 показывают отношения между вентиляцией и перфузией [8].

### Последовательность интерпретации 9-панельного графика

Важно уметь распознавать, как выглядит результат КРНТ, соответствующего норме, и понимать распространенные закономерности отклонений. Рекомендуется следовать следующему алгоритму анализа:

#### *1. Определить, что этот результат теста является максимальным с точки зрения затраченных усилий*

Важно знать, почему КРНТ было остановлено у конкретного пациента. Достиг ли пациент «максимального усилия», т.е. изменятся ли значения анаэробного порога (АТ) и другие показатели, полученные в ходе КРНТ. Показатель $VO_2$peak был достигнут, или же тест был прерван по какой-либо другой причине: мышечно-скелетная боль, гипотония, аритмия, перемежающаяся хромота, депрессия сегмента *ST* или боль в груди, связанная с кардиальными причинами? Максимальное усилие определяется несколькими способами, например:




**Девятипанельный график кардиореспираторного нагрузочного тестирования (КРНТ) (адаптировано из [8]).**
Пояснения в тексте.

**Nine-panel graph of cardiorespiratory stress testing (CRST) (adapted from [8]).**
Explanations in the text.

— достижение более 80% прогнозируемой работы. На основе роста, массы тела, возраста и пола пациента программное обеспечение КРНТ рассчитывает прогнозируемую максимальную работу, которую можно сравнить с работой, достигнутой в конце теста. Увеличение работы во время теста показано черной линией с крестиками, линейно возрастающими на рисунке (панель 3);

— достижение ЧСС >80% от прогнозируемой максимальной, рассчитанной по формуле:

Прогнозируемая максимальная ЧСС=220 уд/мин – возраст.

Для удобства интерпретации программное обеспечение КРНТ отображает прямоугольник, как это показано на панели 2, представляющей диапазон 80—100% от прогнозируемой максимальной ЧСС. Максимальное усилие

можно определить по бордовым ромбам, входящим в бордовый прямоугольник на панели 2 рисунка; 3) достижение RER ($VCO_2/VO_2$) более 1,15, как показано на панели 8 рисунка [8, 9].

### *2. Определить $VO_2$peak*

При постепенном увеличении интенсивности физических упражнений содержание $O_2$ обычно увеличивается линейно пропорционально работе. $VO_2$max — это максимальное значение уровня кислорода, достижимое человеком при выполнении определенного вида упражнений, обычно достигается молодыми, физически подготовленными людьми во время кардиопульмонального нагрузочного теста. $VO_2$max часто не достигается у пожилых людей, находящихся в ослабленном физическом состоянии, имеющих сопутствующие заболевания или и то, и другое. Вместо этого записывается $VO_2$peak — высокое измеренное содержание $O_2$ в момент завершения испытания [10].

### *3. Оценить $VO_2$*

При увеличении сопротивления на велоэргометре потребление кислорода человеком обычно возрастает на 10 мл·мин$^{-1}$·Вт$^{-1}$. Увеличение значения $VO_2$ (красные точки) должно соответствовать увеличению работы (черные кресты), как показано на панели 3 рисунка.

### *4. Определить вентиляционный анаэробный порог*

АТ — это точка, в которой потребность мышц в кислороде превышает способность сердечно-легочной системы его обеспечивать. Мышечные клетки начинают вырабатывать аденозинтрифосфат посредством анаэробного метаболизма, в результате которого образуется молочная кислота. В свою очередь, молочная кислота буферизуется циркулирующим бикарбонатом, генерируя дополнительный $VCO_2$. У большинства людей это будет очевидно на панели 5 как точка, где концентрация $CO_2$ увеличивается непропорционально по сравнению с $VO_2$. Это проще всего увидеть, используя «метод V-образного наклона», при котором через него проводятся две линии наилучшего соответствия. Концентрация $CO_2$ увеличивается с той же скоростью, но после АТ скорость образования $VCO_2$ возрастает, в результате чего появляется вторая линия с более крутым градиентом. Точка пересечения двух линий наилучшего соответствия $VO_2$ — это и есть АТ [8, 11].

Панели 5 и 6 демонстрируют АТ. На панели 5 бордовыми точками показано увеличение ЧСС во время теста. Синие квадраты на панели 5 представляют собой метод наклона V для определения АТ $VCO_2$ (ось Y), построенный против $VO_2$ (ось X). Внезапное изменение к более крутому градиенту указывает на начало анаэробного метаболизма, т.е. АТ. На панели 6 АТ также может быть определен как точка, в которой $VE/VO_2$ (красные точки) начинает увеличиваться, в то время как $VE/CO_2$ (синие квадраты) остается относительно постоянным.

### *5. Оценить уровень $VO_2$ при анаэробном пороге*

АТ находится в точке, в которой данные $VCO_2$ на панели 5 образуют новую траекторию вдоль более крутого градиента. Пакеты компьютерного программного обеспечения КРНТ позволяют провести линию наилучшего прилегания вдоль этих точек данных: АТ — это $VO_2$ в точке пересечения этих линий. В этом примере АТ достигается в точке потребления кислорода и составляет 1,45 л/мин. АТ, следовательно, достигается при 20,4 мл $O_2$/кг/мин. Пациенты, у которых АТ составляет менее 10,2 мл $O_2$/кг/мин, подвержены большему риску осложнений и неблагоприятных исходов.

### *6. Определить, была ли реакция ЧСС нормальной*

Нормальной реакцией на увеличение интенсивности упражнений является линейное увеличение ЧСС, как видно на панели 2 рисунка. Сразу после прекращения физических упражнений наблюдается быстрое снижение ЧСС. Поскольку ЧСС в основном отвечает за увеличение сердечного выброса, препараты, ограничивающие частоту сердечных сокращений (например, антагонисты β-адренорецепторов), могут ослабить эту реакцию ЧСС и вызвать хронотропную недостаточность [8].

### *7. Соотнести повышение уровня кислорода в крови при физических нагрузках*

«Кислородный пульс» — это $VO_2$, разделенное на ЧСС; представляет собой произведение ударного объема и артериовенозной разницы по кислороду. «Кислородный пульс» показан на панели 2 и может рассматриваться как косвенный показатель ударного объема, он должен увеличиваться в начале физической нагрузки, прежде чем постепенно достичь плато при своем максимальном прогнозируемом значении.

### *8. Оценить какие-либо вентиляционные ограничения по результатам тестирования*

Нормальная вентиляционная реакция на физическую нагрузку представляет собой линейное увеличение с интенсивностью упражнений до АТ, за которой следует непропорционально большее увеличение. Это обусловлено увеличением продукции $CO_2$. Здоровые люди обладают достаточной вентиляционной способностью, и физическая активность никогда не ограничивается вентиляцией. Однако у пациентов с обструктивными или рестриктивными заболеваниями легких физическая работоспособность может быть ограничена. Перед началом КРНТ измеряют объем форсированного выдоха за первую секунду ($ОФВ_1$) и форсированную жизненную емкость легких (ФЖЕЛ) с помощью спирометрии. Максимальная произвольная вентиляция (МПВ) — это показатель максимального объема воздуха, который можно вдохнуть и выдохнуть в течение 1 минуты. МПВ можно измерить напрямую или, чаще всего, рассчитать косвенно, умножив $ОФВ_1$ на 40. У здорового пациента МПВ не превышает 80% от MVV — измеренное значение MVV отмечено вертикальной зеленой пунктирной линией справа от оси X на панели 7 рисунка. В некоторых программных пакетах для проведения КРНТ также присутствует вторая вертикальная линия, представляющая 80% от MVV. Кроме того, $SpO_2$ должна оставаться выше 95% на протяжении всего теста и регистрируется на панели 9 рисунка.

### *9. Проанализировать какие-либо изменения на ЭКГ*

Во время КРНТ фиксируют непрерывную ЭКГ и уровень артериального давления. Ишемия во время упражнения может привести к характерным изменениям ЭКГ: депрессия сегмента *ST* 1 мм в двух соседних отведениях или 2 мм в одном отведении, инверсия *T*-волны, блокады левой или правой ножки Гисса или аритмии, вызванные физической нагрузкой.

## Области применения кардиореспираторного нагрузочного тестирования

Прежде всего КРНТ применяется при подборе этапов кардиологической реабилитации, для стратификации риска физических упражнений, и количественной оценки их эффективности [12].

### *Ишемическая болезнь сердца*

Данные, полученные при проведении КРНТ, могут предоставить прогностическое значение у пациентов с ишемической болезнью сердца, давая информацию о риске серьезных нежелательных явлений и усиливая ценность теста при их комплексной оценке [13].

### *Кардиомиопатии*

Сердечно-легочное тестирование является безопасным и информативным инструментом для планирования и мониторинга терапевтической эффективности у пациентов с подозрением на гипертрофическую кардиомиопатию, свидетельствуя о симптомах, тяжести и прогнозе [14].

### *Сердечная недостаточность*

У пациентов с сердечной недостаточностью со сниженной фракцией выброса $pVO_2$ играет заметную роль в прогностической стратификации, выборе программ физической реабилитации, а также при планировании трансплантации сердца [15].

### *Легочная гипертензия*

При оценке состояния пациента с установленным или предполагаемым диагнозом легочной гипертензии, КРНТ может быть применено для анализа патофизиологического механизма непереносимости физических нагрузок, для оценки тяжести заболевания, количественной оценки реакции на терапию и стратификацию риска смертности [16].

### *Одышка неизвестной причины*

Одышка — это сложный и многофакторный симптом, характеризующийся субъективным чувством дискомфорта при дыхании. Это часто сообщаемый симптом, и основные причины могут быть разнообразными и включать респираторные, сердечно-сосудистые, метаболические или психологические факторы. Одышка, возникающая во время физических упражнений и повседневной деятельности, может быть ранним симптомом различных сердечно-легочных и нервно-мышечных заболеваний, что приводит к снижению толерантности к физической нагрузке, декондиционированию мышц и снижению качества жизни.

Во время КРНТ одышку можно оценить с помощью шкал, которые полезны для мониторинга ее интенсивности на протяжении всего теста и для сравнения тяжести дискомфорта при дыхании с уровнем физических упражнений. Наиболее часто используемой шкалой является модифицированная шкала Борга, которая колеблется от 0 до 10. Эта шкала была широко подтверждена и хорошо коррелирует с аэробным стрессом и уровнем лактата в крови во время физических упражнений.

Из-за своего субъективного характера и множества потенциальных основных причин одышка требует комплексной оценки для выявления факторов, способствующих симптому. КРНТ играет решающую роль в выяснении основных механизмов одышки во время физической нагрузки. Интерпретационные алгоритмы позволяют идентифицировать закономерности результатов, характерные для различных клинических состояний, и позволяют врачам дифференцировать закономерности различных состояний, таких как хроническая обструктивная болезнь легких, астма, сердечная недостаточность, ожирение, легочная гипертензия и интерстициальные заболевания легких. В некоторых случаях модифицированные протоколы могут быть использованы во время КРНТ для обнаружения конкретных состояний, которые подозревают на основе клинических данных (например, выявление бронхоконстрикции, вызванной физическими упражнениями, и обструкции гортани, вызванной физическими упражнениями) [17].

### *Заболевание легких*

Сердечно-легочное нагрузочное тестирование чрезвычайно полезно при оценке пациентов с заболеваниями легких для количественной оценки физической работоспособности и уровня инвалидности, предоставления диагностической информации, оценки гипоксемии во время физических упражнений и лежащих в основе механизмов, определения терапевтических стратегий (таких, как легочная реабилитация), оценки предоперационного риска осложнений при легочной хирургии и предоставления прогностической информации. Если АТ значительно снижен, это говорит о том, что дыхательная система может быть ограничивающим фактором для физических упражнений. Можно измерить кривую потока/объема во время тренировки для обнаружения вентиляционных ограничений.

У здоровых людей по мере увеличения интенсивности физических упражнений объем воздуха, остающегося в легких в конце выдоха, уменьшается, в то время как емкость вдоха увеличивается, что приводит к повышению эффективности вентиляции. Тем не менее пациенты с хронической обструктивной болезнью легких могут испытывать трудности с опорожнением легких во время дополнительных упражнений по сравнению с отдыхом из-за ограничения выдоха и увеличения частоты дыхания, что приводит к сокращению времени выдоха. Следовательно, наблюдается увеличение объема конечного выдоха в отличие от снижения, наблюдаемого у людей без заболевания легких, что приводит к снижению емкости вдоха не менее чем на 250 мл [7].

## Противопоказания к проведению кардиореспираторного нагрузочного тестирования

Помимо знания потенциальных показаний к КРНТ, также важно понимать основные противопоказания для этого обследования. Абсолютные противопоказания для КРНТ включают в себя такие состояния, как острый инфаркт миокарда (3—5 сут); нестабильная стенокардия; тяжелые аритмии, особенно с гемодинамической нестабильностью; острый миокардит, эндокардит или перикардит; тяжелый аортальный стеноз; декомпенсированная хроническая сердечная недостаточность; расслаивающаяся аневризма аорты; неконтролируемая бронхиальная астма; тромбоэмболия легочной артерии; артериальная десатурация в покое <85% [1].

## Заключение

Сердечно-легочное нагрузочное тестирование — это комплексное обследование, направленное на уточнение симптомов пациента, дифференциацию основных патофизиологических механизмов и оценку сердечно-легочных нарушений, тяжести заболевания и прогноза. Стандартизация данных КРНТ может оптимизировать их доступность и улучшить индивидуальное ведение пациентов в широком спектре клинических контекстов. Знание основных показаний, применения и базовой интерпретации результатов КРНТ необходимо для использования его потенциала и применения его основных преимуществ в клинической практике.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**
**The authors declare no conflicts of interest.**

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Dores H, Mendes M, Abreu A, Durazzo A, Rodrigues C, Vilela E, Cunha G, Gomes Pereira J, Bento L, Moreno L, Dinis P, Amorim S, Clemente S, Santos M. Cardiopulmonary exercise testing in clinical practice: Principles, applications, and basic interpretation. *Rev Port Cardiol*. 2024 Sep;43(9):525-536. (Portuguese). https://doi.org/10.1016/j.repc.2024.01.005
2. Older P, Hall A, Hader R. Cardiopulmonary exercise testing as a screening test for perioperative management of major surgery in the elderly. *Chest*. 1999;116(2):355-362.
3. Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, Forman D, Franklin B, Guazzi M, Gulati M, Keteyian SJ, Lavie CJ, Macko R, Mancini D, Milani RV; American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee of the Council on Clinical Cardiology; Council on Epidemiology and Prevention; Council on Peripheral Vascular Disease; Interdisciplinary Council on Quality of Care and Outcomes Research. Clinician's guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010;122(2):191-225. https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181e52e69
4. Guazzi M, Adams V, Conraads V, Halle M, Mezzani A, Vanhees L, Arena R, Fletcher GF, Forman DE, Kitzman DW, Lavie CJ, Myers J; European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation; American Heart Association. EACPR/AHA Scientific Statement. Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. *Circulation*. 2012;126(18):2261-2274. https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e31826fb946
5. Stickland MK, Neder JA, Guenette JA, O'Donnell DE, Jensen D. Using Cardiopulmonary Exercise Testing to Understand Dyspnea and Exercise Intolerance in Respiratory Disease. *Chest*. 2022 Jun;161(6):1505-1516. https://doi.org/10.1016/j.chest.2022.01.021
6. Andonian BJ, Hardy N, Bendelac A, Polys N, Kraus WE. Making Cardiopulmonary Exercise Testing Interpretable for Clinicians. *Curr Sports Med Rep*. 2021 Oct;20(10):545-552. https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000895
7. Neder JA. Cardiopulmonary exercise testing applied to respiratory medicine: Myths and facts. *Respir Med*. 2023 Aug;214:107249. https://doi.org/10.1016/j.rmed.2023.107249
8. Chambers DJ, Wisely NA. Cardiopulmonary exercise testing-a beginner's guide to the nine-panel plot. *BJA Educ*. 2019 May;19(5):158-164. https://doi.org/10.1016/j.bjae.2019.01.009
9. Levett DZH, Jack S, Swart M, Carlisle J, Wilson J, Snowden C, Riley M, Danjoux G, Ward SA, Older P, Grocott MPW; Perioperative Exercise Testing and Training Society (POETTS). Perioperative cardiopulmonary exercise testing (CPET): consensus clinical guidelines on indications, organization, conduct, and physiological interpretation. *Br J Anaesth*. 2018 Mar;120(3):484-500. https://doi.org/10.1016/j.bja.2017.10.020
10. Hartley RA, Pichel AC, Grant SW, Hickey GL, Lancaster PS, Wisely NA, McCollum CN, Atkinson D. Preoperative cardiopulmonary exercise testing and risk of early mortality following abdominal aortic aneurysm repair. *Br J Surg*. 2012 Nov;99(11):1539-1546. https://doi.org/10.1002/bjs.8896
11. Kinnear W, Kalinke L, Hull J. *A practical guide to the interpretation of cardiopulmonary exercise tests*. Oxford: Oxford University Press; 2026.
12. Schmid JP, Corrà U. *Exercise training programmes for high-risk and specific groups*. ESC Handbook of Cardiovascular Rehabilitation: A Practical Clinical Guide. 2020.
13. Herdy AH, Ritt LE, Stein R, Araújo CG, Milani M, Meneghelo RS, Ferraz AS, Hossri C, Almeida AE, Fernandes-Silva MM, Serra SM. Cardiopulmonary Exercise Test: Background, Applicability and Interpretation. *Arq Bras Cardiol*. 2016 Nov;107(5):467-481. https://doi.org/10.5935/abc.20160171
14. Arbelo E, Protonotarios A, Gimeno JR, Arbustini E, Barriales-Villa R, Basso C, Bezzina CR, Biagini E, Blom NA, de Boer RA, De Winter T, Elliott PM, Flather M, Garcia-Pavia P, Haugaa KH, Ingles J, Jurcut RO, Klaassen S, Limongelli G, Loeys B, Mogensen J, Olivotto I, Pantazis A, Sharma S, Van Tintelen JP, Ware JS, Kaski JP; ESC Scientific Document Group. 2023 ESC Guidelines for the management of cardiomyopathies. *Eur Heart J*. 2023 Oct 1;44(37):3503-3626. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad194
15. Sun XG, Hansen JE, Beshai JF, Wasserman K. Oscillatory breathing and exercise gas exchange abnormalities prognosticate early mortality and morbidity in heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 2010 Apr;55(17):1814-1823. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2009.10.07
16. Weatherald J, Farina S, Bruno N, Laveneziana P. Cardiopulmonary Exercise Testing in Pulmonary Hypertension. *Annals of the American Thoracic Society*. 2017;14 (Suppl. 1):S84-S92. https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201610-788FR
17. O'Donnell DE, Milne KM, Vincent SG, Neder JA. Unraveling the Causes of Unexplained Dyspnea: The Value of Exercise Testing. *Clin Chest Med*. 2019 Jun;40(2):471-499. https://doi.org/10.1016/j.ccm.2019.02.014

Поступила 12.02.2026
Receiver 12.02.2026
Принята к печати 13.03.2026
Accepted 13.03.2026