

Н.Т. Ватути^{1,2}, А.С. Смирнова^{*1,2}, Е.С. Гасендич¹, И.В. Тов¹¹ — Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького, кафедра госпитальной терапии, Донецк, Украина² — Институт неотложной и восстановительной медицины им. В.К. Гусака, Донецк, Украина

СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА КАРДИОПУЛЬМОНАЛЬНОЕ НАГРУЗОЧНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ (ОБЗОР РЕКОМЕНДАЦИЙ ЕАСРР/АНА, 2016)

М.Т. Vatutin^{1,2}, G.S. Smyrnova^{*1,2}, E.S. Gasendich¹, I.V. Tov¹¹ — M. Gorky Donetsk National Medical University, Department of Hospital Therapy, Donetsk, Ukraine² — V.K. Gusak Institute of Urgent and Recovery Surgery, Donetsk, Ukraine

MODERN VIEW OF CARDIOPULMONARY EXERCISE TESTING (REVIEW OF ACR/EULAR GUIDELINES, 2016)

Резюме

В сообщении представлены основные положения новых клинических рекомендаций 2016 г., касающихся кардиопульмонального нагрузочного теста (КПНТ), предложенные Европейской ассоциацией сердечно-сосудистой профилактики и реабилитации, а также Американской ассоциацией сердца. Рассмотрены основные режимы и методики проведения теста. Разобраны важнейшие показатели, оцениваемые в процессе его выполнения, показано их физиологическое значение и изменения при различных заболеваниях. Приведены клинические показания к проведению КПНТ, рассмотрено применение нагрузочного тестирования у пациентов, страдающих одышкой, заболеваниями легких, направляемых на оперативное вмешательство, связанное с частичной резекцией легкого, а также клапанной патологией сердца.

Ключевые слова: кардиопульмональное нагрузочное тестирование; рекомендации; одышка; сердечная недостаточность; хроническая обструктивная болезнь легких.

Abstract

The report presents the main provisions of the new clinical practice guidelines (2016 year) relating to the cardiopulmonary exercise test (CPET), proposed by the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation, as well as the American Heart Association. The basic modes and methods of test are described in the review. The key indicators that are measured in the process of its implementation are reflected in the text. Moreover we demonstrated the physiological significance and changes of test indicators in various diseases. Also we have described the main clinical indications for CPET and its using in patients with shortness of breath, lung disease, sent to surgery, associated with partial resection of the lung, and heart valve disorders.

Key words: cardiopulmonary exercise testing; recommendations; dyspnea; heart failure; chronic obstructive pulmonary disease.

DOI: 10.20514/2226-6704-2017-7-1-5-14

V_E/V_{CO_2} — отношение минутного объема дыхания к продукции углекислого газа, OUES (oxygen uptake efficiency slope) — показатель эффективности потребления кислорода, EVP (Exercise Ventilatory Power) — дыхательная мощность, EACPR — European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation, AHA — American Heart Association, ACC — American College of Cardiology, ВЭМ — велоэргометрия, КПНТ — кардиопульмональный нагрузочный тест, O_2 — кислород, CO_2 — углекислый газ, СВ — сердечный выброс, МВ — минутная вентиляция, ДО — дыхательный объем, ДП — дыхательные пути, МП — мертвое пространство, СН — сердечная недостаточность

Известно, что тест с физической нагрузкой как метод функциональной диагностики является неотъемлемой частью обследования кардиологического больного [1]. Это связано с тем, что основные функциональные показатели организма, измеренные в

условиях стандартной нагрузки, значительно более достоверны, чем измеренные в покое. Проба с физической нагрузкой может использоваться в виде теста с 6-минутной ходьбой, велоэргометрии (ВЭМ) и тредмил-теста.

*Контакты/Contacts. E-mail: a.smyrnova@mail.ru.

В течение последних нескольких десятилетий наблюдается значительный рост в использовании с этой целью и кардиопульмонального нагрузочного теста (КПНТ) [2, 3]. Как показали результаты ряда исследований [4, 5], нагрузочное тестирование с дополнительным измерением параметров газообмена, является более надежным диагностическим инструментом, который предоставляет значимую диагностическую и прогностическую информацию о состоянии больных с сердечно-сосудистыми и легочными заболеваниями. Однако его широкое использование в клинической практике ограничивается целым рядом факторов: сложностью оборудования для его проведения и стоимостью, необходимостью глубоких специальных знаний у персонала, ограниченностью курсов его обучения и недостатком понимания значимости КПНТ клиницистом [6].

Физиология газообмена

Способность к выполнению физической нагрузки напрямую связана с возможностью сердечно-сосудистой системы обеспечивать ткани кислородом (O_2), а системы дыхания освобождаться от углекислого газа (CO_2). Газообмен принято разделять на три процесса: легочная вентиляция, легочная диффузия и капиллярный газообмен [7]. Первые два процесса называются внешним дыханием, т.к. они включают в себя перемещение газов из окружающего воздуха в кровь и обратно. Третий процесс называется внутренним дыханием, поскольку он отражает газообмен между тканями организма и кровью. Оба дыхания связаны между собой системой кровообращения, которая обеспечивает транспорт O_2 и CO_2 форменными элементами крови [6].

К параметрам, реагирующим на увеличение потребления O_2 при физической нагрузке, относят сердечный выброс (СВ), минутную вентиляцию (МВ) и дыхательный объем (ДО). При увеличении потребления O_2 работающими мышцами, СВ может возрасти в несколько (6!) раз. Параллельно с этим кровь перераспределяется от неактивных тканей (селезенка, почки) к скелетным мышцам, что улучшает их функциональные возможности, а также усиливается приток крови к легким. У здоровых лиц МВ увеличивается пропорционально физической нагрузке. Во время дыхания только часть вдыхаемого воздуха достигает альвеол, где происходит газообмен. Другая часть остается в дыхательных путях (ДП), не участвующих в газообмене (мертвое пространство (МП)). При нагрузке ДП расширяются, а объем МП увеличивается. При этом одновременное увеличение ДО сохраняет адекватную альвеолярную вентиляцию и газообмен.

Различные заболевания приводят к нарушению данных соотношений. Степень непропорционального увеличения вентиляции во время выполнения на-

грузки напрямую связана с тяжестью патологического процесса и является одним из важных прогностических факторов. Ценность КПНТ заключается в том, что данное исследование позволяет оценить способность организма переносить физическую нагрузку и выявить причину нарушения к ней толерантности.

Методология

КПНТ может проводиться на беговой дорожке и при ВЭМ. Выбор методики определяется индивидуально. Дорожка позволяет осуществлять постоянно нарастающую нагрузку через комбинацию увеличения скорости и роста угла наклона поверхности. КПНТ, проводимый на тредмиле, имеет ряд преимуществ перед ВЭМ. Так, для многих лиц беговая дорожка является более привычной формой упражнений. Ходьба и бег требует вовлечения в работу всех мышц и приводит к большей нагрузке на все органы. Вследствие этого максимальное потребление O_2 на 5—10% выше на беговой дорожке, чем на ВЭМ [8]. Основным недостатком тредмил-теста является затруднение точного подсчета внешней нагрузки на человека при физическом усилии в связи с влиянием массы тела [9].

ВЭМ предпочтительней у лиц с нарушением походки или равновесия, при ожирении, ортопедических проблемах и при одновременном ультразвуковом исследовании сердца. Велоэргометр требует меньше пространства для проведения исследования, его стоимость ниже, а использование создает меньшее число артефактов при записи электрокардиограммы. При нарушении функций нижних конечностей можно использовать и ручную эргометрию [10].

Современные системы КПНТ позволяют анализировать газообмен в состоянии покоя, во время нагрузки, в период восстановления и измеряют следующие основные показатели в течение каждого дыхательного цикла: потребление O_2 , максимальное потребление O_2 , продукцию CO_2 , частоту респираторного обмена, максимальную аэробную производительность, минутную вентиляцию, время нагрузки и наступления анаэробного порога. Объединение этих данных с электрокардиографическими параметрами, частотой сердечных сокращений, результатами эхокардиографии и уровнем артериального давления дает много ценной диагностической информации, интерпретация которой помогает в лечении сложных сердечно-сосудистых и легочных заболеваний.

Новое в рекомендациях

Растущий объем доказательств в поддержку КПНТ ускорил выход многочисленных научных заявлений обществ и ассоциаций. В 2012 г. Европейская ассоциация сердечно-сосудистой профилактики и реа-

билитации (European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (EACPR)) и Американская ассоциация сердца (American Heart Association (AHA)) разработали совместный документ с первичным намерением рационализировать интерпретацию КПНТ и повысить его практическое применение [11]. Однако ввиду обилия исследований, посвященных КПНТ, и получения новых научных данных, целесообразным стал пересмотр ряда алгоритмов, который отображен в документе EACPR/AHA 2016 г. [12].

Алгоритмы 2012 г.,
НЕ ТРЕБУЮЩИЕ ПЕРЕСМОТРА

Тщательный анализ современных научных данных позволил авторам рекомендаций прийти к выводу, что алгоритмы проведения КПНТ, которые были рекомендованы в документе 2012 г. при функциональной оценке больных с сердечной недостаточностью (СН), гипертрофической кардиомиопатией, легочной артериальной гипертензией/вторичной легочной гипертензией, подозрением на ишемию миокарда и митохондриальную миопатию, пока не требуют пересмотра и рекомендованы к дальнейшему использованию.

Универсальный
лист отчетности 2012 г.
и пересмотренные алгоритмы

В рекомендациях 2016 г. был пересмотрен универсальный лист отчетности КПНТ (рисунок 1), в который был добавлен раздел оценивания взаимосвязи между кривой ДО и кривой максимальный поток-объем с целью определения возможного ограничения скорости выдоха.

Помимо этого, в рекомендациях 2016 г. были пересмотрены алгоритмы, касающиеся необъяснимой одышки, хронической обструктивной и интерстициальной болезни легких. Авторы отмечают, что все переменные алгоритмы 2012 г., остаются ключевыми для текущего документа и позволяют оценить кардиопульмональный ответ на аэробные упражнения. В пересмотренный алгоритм была добавлена кривая поток-объем (таблицы 1 и 2). Считается, что для больных с необъяснимой одышкой наличие или величина ограничения скорости выдоха объясняют легочной механизм ограничения физической нагрузки и возникновения аномальной симптоматики. Согласно данным исследований у пациентов с подтвержденным диагнозом хронической обструктивной или интерстициальной болезни легких в большинстве случаев также следует ожидать некоторое ограничение скорости выдоха. Таким образом, оценка кривой поток-объем во время выполнения нагрузки позволяет определить количественную величину ограничения скорости выдоха.

- Изменение процента прогнозируемого пикового потребления кислорода от зеленого до красного цветов указывает на ухудшение функционального состояния, независимо от механизма.
- Изменение наклона кривой зависимости минутной вентиляции легких от продукции углекислого газа от желтого к оранжевому и красному цветам, говорит о возрастании легочного давления, вызванном отдыхом или нагрузками.
- Прогрессия при пульсоксиметрии до красного цвета указывает на вентиляционно-перфузионный дисбаланс.
- Изменения в V_E/MVV , ОФВ₁, ПСВ и петле «поток-объем» до красного цвета указывают на легочной механизм нарушений; ухудшение ОФВ₁ и ПСВ во время первых минут теста указывают на бронхоспазм, индуцированный нагрузкой.

Exercise Modality: ☐ Treadmill ☐ Lower extremity ergometer

Exercise Protocol:

Peak $\dot{V}O_2$ (mlO ₂ ·kg ⁻¹ ·min ⁻¹): □□.□	Percent-Predicted Peak $\dot{V}O_2$ (%)* □□.□	$\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ Slope†: □□.□
$\dot{V}O_{2at VT}$ (mlO ₂ ·kg ⁻¹ ·min ⁻¹): □□.□	Peak RER: □.□□	EOV‡ [] Yes [] No
VT as % Peak $\dot{V}O_2$: □□		
P _{ET} CO ₂ (mmHg): Resting: □□.□ Increase during ET: □.□	$\dot{V}E/\dot{V}O_2$ at peak ET: □□.□	$\Delta Q/\Delta \dot{V}O_2$ § □□.□
$\dot{V}E/MVV $: □.□□ PEF (L/min): Pre ET - □□.□ Post ET: □□.□ FEV ₁ (L/min): Pre ET - □□.□ Post ET: □□.□		

Flow Volume Loops: Compare Maximal Flow Volume Loop to Exercise Tidal Volume Loop

Normal ☐ or Expiratory Flow Limitation ☐

O₂ pulse trajectory#: ☐ Continual rise throughout ET ☐ Early and sustained plateau ☐ Decline

$\Delta \dot{V}O_2/\Delta W$ trajectory#: ☐ Continual rise throughout ET ☐ Early and sustained plateau ☐ Decline

Resting HR (beats/min): □□	Resting BP (mmHg): □□□/□□□	Resting Pulse Oximetry (%): □□
Peak HR (beats/min): □□□	Peak BP (mmHg): □□□/□□□	Peak Pulse Oximetry (%): □□
Percent of Age Predicted Maximal HR**: □□□	Maximal Workload [] Treadmill speed/grade: □□.□/□□.□ [] Cycle ergometer Watts: □□□	
HRR at 1 minute (beats): □□		

ECG Criteria [] No arrhythmias/Ectopy/ST segment changes [] Arrhythmias/Ectopy/ST segment changes: not exercise limiting [] Arrhythmias/Ectopy/ST segment changes: exercise limiting	ECG Description
--	-----------------

Subjective Symptoms (check box for primary termination criteria)
Fatigue [] Leg Fatigue [] Angina [] Dyspnea [] Other _____ Peak RPE _____

Additional Notes

Рисунок 1. Универсальный лист отчетности кардиопульмонального нагрузочного теста
Figure 1. Universal sheet cardiopulmonary stress test reports

Примечание: BP — кровяное давление, CPX — кардиопульмональный нагрузочный тест, ECG — электрокардиограмма, EOv — осцилляторная нагрузочная вентиляция, ET — нагрузочный тест, HR — частота сердечных сокращений, HRR — восстановление частоты сердечных сокращений, O₂ — кислород, P_{ET}CO₂ — конечно-экспираторная концентрация CO₂, PEF — пиковая скорость выдоха, $\Delta Q/\Delta \dot{V}O_2$ — отношение изменения сердечного выброса к изменению потребления кислорода, RER — отношение респираторного обмена, RPE — рейтинг воспринимаемой нагрузки, $\dot{V}E/MVV$ — отношение минутного объема дыхания к максимальной вентиляции легких, $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ — отношение минутного объема дыхания к продукции углекислого газа, $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ — отношение минутного объема дыхания к потреблению кислорода, $\dot{V}O_2$ — потребление кислорода, $\Delta \dot{V}O_2/\Delta W$ — отношение изменения потребления кислорода к изменению в Ваттах, VT — дыхательный объем.

Таблица 1. Диагностика уровней риска для пациентов с необъяснимой одышкой при физической нагрузке
Table 1. Diagnosis of risk levels for patients with unexplained dyspnea on exertion

Основные показатели КПНТ/Key indicators cardiopulmonary exercise testing			
Кривая V_E/V_{CO_2} / Curve V_E/V_{CO_2}	Прогнозируемый процент пикового V_{O_2} /Projected percentage of peak V_{O_2}	P_{ETCO_2}	V_E/MVV
Дыхательный класс 1 <30,0	≥ 100%	P_{ETCO_2} покоя 36-42 мм рт.ст. На 3- до 8- мм рт.ст. повышается при проведении НТ	≤ 0,80
Дыхательный класс 2 30,0-35,9	75%-99%		
Дыхательный класс 3 36,0-44,9	50%-74%	P_{ETCO_2} покоя <36 мм рт.ст.	> 0,80
Дыхательный класс 4 ≥45,0	< 50%	<3 мм рт.ст. повышается при проведении НТ	
Основные показатели ДНТ: Петля «поток-объем» и ОФВ ₁ , ПСВ/ Key indicators DET: Loop «flow-volume» and FEV ₁ , PEF			
exT _v : нормальная		exT _v : скорость выдоха снижена	
Нет изменений ОФВ ₁ и/или ПСВ до, во время или после проведения КПНТ		≥ 15% снижение ОФВ ₁ или ПСВ до, во время или после проведения КПНТ	
Стандартные показатели НТ/ Typical ET			
Гемодинамические/ Hemodynamic	ЭКГ/ ECG	Пульсоксиметрия/ Pulse oximetry	
Повышение САД во время проведения НТ: 10 мм рт.ст./3,5 -мл O ₂ х кг ⁻¹ х мин ⁻¹ увеличение V_{O_2}	Нет устойчивых аритмий, очагов эктопической активности и/или изменений сегмента ST во время или после проведения НТ	Нет изменений SpO ₂ от исходного	
Нет изменений САД или его падение во время выполнения НТ или Чрезмерное повышение САД во время выполнения НТ: ≥ 20 мм.рт.ст./3,5- мл O ₂ х кг-1 х мин-1 увеличение V_{O_2}	Изменения ритма, очаги эктопической активности и/или изменения сегмента ST во время или после проведения НТ: не привели к прекращению НТ Изменения ритма, очаги эктопической активности и/или изменения сегмента ST во время или после проведения НТ: привели к прекращению НТ	> 5%снижения SpO ₂ от исходного	

Примечание: НТ — нагрузочный тест, ДНТ — дыхательный нагрузочный тест, ОФВ₁ -объём форсированного выдоха за 1 секунду, ПСВ — пиковая скорость выдоха, КПНТ — кардиопульмональный нагрузочный тест, САД — систолическое артериальное давление, ЭКГ — электрокардиограмма, V_E/V_{CO_2} — отношение минутного объема дыхания к продукции углекислого газа, V_{O_2} — потребление кислорода; P_{ETCO_2} — конечно-экспираторная концентрация углекислого газа, V_E/MVV – отношение минутного объема дыхания к максимальной вентиляции легких, exT_v — нагрузочный дыхательный объем, SpO₂ — сатурация кислорода

- Гемодинамические и/или ЭКГ-изменения говорят о кардиоваскулярном механизме нарушений
- Все показатели зеленого цвета: превосходный прогноз на следующие 1-4 года
 - Продолжить прежнюю тактику лечения, повторное проведение КПНТ через 4 года
- Большинство показателей КПНТ и стандартных НТ в красном/оранжевом/желтом цветах указывают на худший прогноз
 - Все КПНТ показатели в красном цвете: риск основных неблагоприятных событий очень высокий на следующие 1-4 года
- Снижение скорости выдоха во время проведения тестов указывает на слабость дыхательной мускулатуры и снижение ее функции
- Большинство показателей КПНТ и стандартных НТ в красном/оранжевом/желтом цветах указывают на прогрессирование тяжести интерстициальной болезни легких
 - Если кривая V_E/V_{CO_2} и P_{ETCO_2} прогрессируют до красного цвета, возможно, имеет место вторичная легочная гипертензия

- Большинство показателей КПНТ и стандартных НТ в красном/оранжевом/желтом цветах указывают на необходимость рассмотрения более агрессивных методов лечения или хирургического вмешательства.

**Кардиопульмональное
нагрузочное тестирование
с целью оценки риска осложнений
в пери-/послеоперационном
периодах и долгосрочного прогноза**

Точная оценка индивидуального риска неблагоприятных исходов в пери-/послеоперационном периодах, а также определение долгосрочного прогноза после хирургического вмешательства представляют ценную информацию для врача. Данные литературы демонстрируют существенное прогностическое значение КПНТ перед проведением ряда хирургических процедур (коррекция аневризмы брюшного отдела аорты, радикальная цистэктомия, трансплантация печени, резекция

Таблица 2. Прогноз и определение группы риска для пациентов с хронической обструктивной и интерстициальной болезнью легких

Table 2. Forecast and risk assessment for patients with chronic obstructive pulmonary disease and interstitial

Основные показатели КППТ/Key indicators cardiopulmonary exercise testing			
Кривая V _E /V _{CO2} / Curve V _E /V _{CO2}	Пиковое V _{O2} / Peak V _{O2}	P _{ETCO2}	
Дыхательный класс 1 <30,0	Класс по Веберу А > 20,0 мл O ₂ x кг ⁻¹ x мин ⁻¹	P _{ETCO2} покоя ≥33,0 мм.рт.ст. На 3-до 8- мм.рт.ст. повышается при проведении НТ	
Дыхательный класс 2 30,0-35,9	Класс по Веберу В 16,0-20,0 мл O ₂ x кг ⁻¹ x мин ⁻¹		
Дыхательный класс 3 36,0-44,9	Класс по Веберу С 10,0-15,9 мл O ₂ x кг ⁻¹ x мин ⁻¹	P _{ETCO2} покоя <33 мм.рт.ст. <3 мм.рт.ст. повышается при проведении НТ	
Дыхательный класс 4 ≥45,0	Класс по Веберу D < 10,0 мл O ₂ x кг ⁻¹ x мин ⁻¹		
Петля «поток-объем»/ Loop «flow-volume»			
exT _V : нормальная		exT _V : скорость выдоха снижена	
Стандартные показатели НТ/ Typical NT			
Гемодинамические/ Hemodynamic	ЭКГ/ ECG	Восстановление ЧСС/ Recovery heart rate	Пульсоксиметрия/ Pulse oximetry
Повышение САД во время выполнения НТ	Нет устойчивых аритмий, очагов эктопической активности и/или изменений сегмента ST во время или после проведения НТ	> 12 ударов в 1-ю мин восстановления	Нет изменений SpO ₂ от исходного
Нет изменений САД во время выполнения НТ	Изменения ритма, очаги эктопической активности и/или изменения сегмента ST во время или после проведения НТ: не привели к прекращению НТ	≤ 12 ударов в в 1-ю мин восстановления	> 5% изменения SpO ₂ от исходного
Падение САД во время выполнения НТ	Изменения ритма, очаги эктопической активности и/или изменения сегмента ST во время или после проведения НТ: привели к прекращению НТ		

Примечание: КППТ — кардиопульмональный нагрузочный тест, НТ — нагрузочный тест, САД — систолическое артериальное давление, ЭКГ — электрокардиограмма, ЧСС — частота сердечных сокращений, V_E/V_{CO2} — отношение минутного объема дыхания к продукции углекислого газа, V_{O2} — потребление кислорода; P_{ETCO2} — конечно-экспираторная концентрация углекислого газа, exT_V —нагрузочный дыхательный объем.

легких и печени, бариатрическая и колоректальная хирургия).

Так, согласно рекомендациям Американской коллегии торакальных хирургов (American College of Chest Physicians) пациентам с раком легких, которым необходимо выполнение резекции органа, необходимо выполнение КППТ с целью оценки риска. Как известно, резекция легкого чаще всего производится у онкологических больных для лечения местной опухоли легочной ткани. Толерантность к нагрузке выступает важным предиктором периоперативной смертности и рекомендуется в качестве одного из возможных путей оценки физиологического резерва пациента. Значение пикового потребления O₂>15 мл/мин/кг свидетельствует об отсутствии дополнительного увеличения риска периоперативных осложнений относительно больных с минимальной степенью подобного риска [6]. В тоже время, значение пикового потребления O₂<10 мл/мин/кг ассоциировано с повышенным периоперативным риском долевой, субтотальной или тотальной резекции, что надо принимать во внимание при оценке пользы от оперативного вмешательства.

В рекомендации 2014 г. Американской коллегии кардиологов (American College of Cardiology (ACC))/АНА, касающихся периоперационной оценки сердечно-сосудистой системы и ведения пациентов, которым проводится некардиологическое хирургическое вмешательство, также описана необходимость выполнения КППТ с определением пикового потребления O₂ и отношения минутного ДО к продукции CO₂.

В таблице 3 представлен алгоритм КППТ для оценки предоперационного риска. Хотя расчет потребления O₂ и ДО не был утвержден в рекомендациях 2012 г. для каких-либо алгоритмов КППТ, существенное прогностическое значение этих параметров было подтверждено в работах, оценивающих предоперационный риск с помощью КППТ. Таким образом, в рекомендациях 2016 г. был включен расчет потребления O₂ и ДО в алгоритм дохирургической оценки риска. Авторы рекомендаций отмечают, что для оценки величины этих важных параметров необходимо заключение по крайней мере одного опытного рецензента, хотя предпочтительным считается заключение двух или трёх заслепленных специалистов. Следует отметить, что корректное определение потребления O₂ не всегда возможно, особенно у пациентов с СН.

Таблица 3. Предоперационная оценка
Table 3. Preoperative evaluation

Основные показатели КПНТ/Key indicators cardiopulmonary exercise testing		
Кривая V _E /V _{CO2} / Curve V _E /V _{CO2}	Пиковое V _{O2} / Peak V _{O2}	V _{O2} к ДО/ V _{O2} to breathing capacity
Дыхательный класс 1 <30,0	Класс по Веберу А > 20,0 мл O ₂ × кг ⁻¹ × мин ⁻¹	≥ 11,0 мл O ₂ × кг ⁻¹ × мин ⁻¹
Дыхательный класс 2 30,0-35,9	Класс по Веберу В 16,0-20,0 мл O ₂ × кг ⁻¹ × мин ⁻¹	
Дыхательный класс 3 36,0-44,9	Класс по Веберу С 10,0-15,9 мл O ₂ × кг ⁻¹ × мин ⁻¹	<11,0 мл O ₂ × кг ⁻¹ × мин ⁻¹
Дыхательный класс 4 ≥45,0	Класс по Веберу D < 10,0 мл O ₂ × кг ⁻¹ × мин ⁻¹	
Стандартные показатели НТ/ Typical NT		
Гемодинамические/ Hemodynamic	ЭКГ/ ECG	
Повышение САД во время выполнения НТ	Нет устойчивых аритмий, очагов эктопической активности и/или изменений сегмента ST во время или после проведения НТ	
Нет изменений САД во время выполнения НТ	Изменения ритма, очаги эктопической активности и/или изменения сегмента ST во время или после проведения НТ: не привели к прекращению НТ	
Падение САД во время выполнения НТ	Изменения ритма, очаги эктопической активности и/или изменения сегмента ST во время или после проведения НТ: привели к прекращению НТ	
Причина прекращения пациентом проведения НТ/ The reason for the patient discontinuing NT		
Мышечная слабость	Стенокардия или одышка	

Примечание: КПНТ — кардиопульмональный нагрузочный тест, НТ — нагрузочный тест, САД — систолическое артериальное давление, ЭКГ — электрокардиограмма, ДО — дыхательный объем, V_E/V_{CO_2} — отношение минутного объема дыхания к продукции углекислого газа, V_{O_2} — потребление кислорода.

В таких случаях необходимо удостовериться, что нагрузка пациента была достаточной (т.е. пик соотношение дыхательного обмена составил $\geq 1,00$).

- Все показатели зеленого цвета: превосходный прогноз и низкая вероятность пред- и послеоперационных осложнений
- Большинство показателей КПНТ и стандартных НТ в красном/оранжевом/желтом цветах свидетельствуют о худшем прогнозе и более высоком риске пред- и послеоперационных осложнений
 - Все показатели красного цвета: риск основных неблагоприятных событий или пред- и послеоперационных осложнений очень высокий
 - Долгосрочный прогноз неблагоприятный

Кардиопульмональное нагрузочное тестирование у пациентов с клапанной болезнью сердца

В последние годы появляется все больше данных о применении КПНТ у больных с врожденными и приобретенными пороками сердца. Однако, поскольку врожденные пороки представляют собой набор гетерогенных нарушений, то и результаты нагрузочного тестирования показывают значительную вариабельность. Общим моментом является снижение толерантности к нагрузке у таких больных, по сравнению с лицами без патологии. При этом степень снижения зависит от конкретного порока сердца, причем исследования показали, что толе-

рантность к нагрузке снижена даже у пациентов с отсутствием клинических симптомов заболевания, а их самооценка физического состояния является плохим предиктором нарушений толерантности к нагрузке по данным КПНТ. Как показали данные исследований, увеличение отношения минутного объема дыхания к продукции углекислого газа у больных с нецианотическим врожденным пороком связано с десятикратным увеличением риска смертельного исхода. В целом КПНТ позволяет получить дополнительную объективную информацию о нарушении толерантности к нагрузке и прогноза развития заболевания у таких больных.

Согласно рекомендациям Европейского общества кардиологов (European Society of Cardiology) и Европейской ассоциации кардио-торакальной хирургии (European Association for Cardio-Thoracic Surgery), появление симптомов или снижение артериального давления во время проведения нагрузочного теста у бессимптомных пациентов с тяжелым аортальным стенозом является показанием к замене клапана. В ряде работ было отмечено, что среди бессимптомных пациентов с тяжелым аортальным стенозом повышение наклона отношения минутного объема дыхания к продукции углекислого газа (V_E/V_{CO_2}) и снижение пикового потребления O_2 было зарегистрировано у больных, которые впоследствии подверглись замене аортального клапана. В другом исследовании повышение наклона V_E/V_{CO_2} явилось

Таблица 4. Клапанная болезнь сердца/дисфункция
Table 4. Valvular heart disease / dysfunction

Основные показатели КПНТ/Key indicators cardiopulmonary exercise testing		
Кривая V _E /V _{CO2} / Curve V _E /V _{CO2}	Пиковое V _{O2} / Peak V _{O2}	Прогнозируемый процент пикового V _{O2} / Projected percentage of peak V _{O2}
Дыхательный класс 1 		

Примечание: КПНТ — кардиопульмональный нагрузочный тест, НТ — нагрузочный тест, САД — систолическое артериальное давление, ЭКГ — электрокардиограмма, V_E/V_{CO2} — отношение минутного объема дыхания к продукции углекислого газа, V_{O2} — потребление кислорода.

предиктором декомпенсации СН или смертности у бессимптомных пациентов с тяжелым аортальным стенозом.

Повышение наклона V_E/V_{CO2} и снижение пикового потребления O₂ также наблюдается с пациентов с СН и сопутствующей митральной регургитацией, индуцированной физической нагрузкой. При этом после проведения хирургической коррекции не наблюдается незамедлительное повышение пикового потребления O₂, в то время как происходит значительное снижение наклона V_E/V_{CO2}.

В приложении 5 отображен алгоритм проведения КПНТ для пациентов с клапанной болезнью сердца. В заключении следует отметить, что дыхательная эффективность, выраженная по кривой V_E/V_{CO2} и пиковое потребление O₂, являются важными маркерами оценки тяжести и прогноза клапанной болезни сердца.

- Все показатели зеленого цвета: превосходный прогноз
- Большинство показателей КПНТ и стандартных НТ в красном/оранжевом/желтом цветах свидетельствуют о худшем прогнозе
- Большинство показателей КПНТ и стандартных НТ в красном/оранжевом/желтом цветах указывают на необходимость рассмотрения более агрессивных методов лечения или хирургического вмешательства.

КАРДИОПУЛЬМОНАЛЬНОЕ
НАГРУЗОЧНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ
У ПРАКТИЧЕСКИ ЗДОРОВЫХ ЛИЦ

Проведение теста с физической нагрузкой является универсальным методом выявления процессов нарушения толерантности к интенсивной физической нагрузке, в частности у спортсменов, а также дает возможность оценить уровень физической работоспособности независимо от внешних факторов. С точки зрения физиологии мерой аэробной мощности и интегральным показателем состояния транспортной системы O₂ является максимальное его потребление. Аэробная работоспособность у спортсмена тем выше, чем выше уровень потребления O₂. Основной задачей организма во время интенсивной физической нагрузки является адекватное обеспечение тканей O₂. Максимальное потребление O₂ зависит от двух основных факторов: совершенства кислородтранспортной системы (соматического благополучия сердечно-сосудистой и респираторной систем) и способности скелетных мышц усваивать поступающий O₂. Таким образом, снижение максимального потребления O₂ может быть связано либо с низкими окислительными возможностями работающих мышц, либо с неблагополучием со стороны сердечно-сосудистой и легочной систем, а низкий уровень аэробной мощности может быть предиктором риска будущих нежелательных событий у практически здоровых лиц.

Кроме того, оценка физиологического ответа на аэробную нагрузку обеспечивает врача информацией о потенциальных нарушениях, которые, в случае обнаружения, могут быть скорректированы до того, как возникнет симптоматика заболевания. Следует отметить, что практически здоровым считается человек в состоянии отсутствия признаков манифестации патологического процесса. На самом деле, большинство американцев, которые были определены как практически здоровые, имели менее чем идеальное состояние сердечно-сосудистой системы в результате нездорового образа жизни (отсутствие физической активности, плохое питание, избыточный вес тела, курение) и плохое состояние других параметров (дислипидемия, артериальная гипертензия, гипергликемия).

На сегодняшний день нагрузочные тесты, включая КПНТ, не используются при обследовании практически здоровых лиц во время ежегодных медицинских

осмотров в больницах. Тем не менее, пройти данное обследование практически здоровое население может в оснащенных тренажерных залах или оздоровительных центрах. Становится очевидной необходимость проведения исследований, которые помогут определить клиническое значение нагрузочного тестирования в целом, и КПНТ в частности, в популяции практически здоровых лиц для разработки конкретных рекомендаций. В настоящее время определены нормативные показатели аэробной мощности, которые были получены из больших когорт в США и Европе, демонстрируя все более широкое признание этого параметра у этого контингента населения.

Эти данные послужили основанием для написания алгоритма проведения КПНТ у практических здоровых лиц (приложение 6), хотя авторы рекомендаций 2016 г. настаивают на проведении дополнительных исследований, которые помогут оценить значимость нагрузочного тестирования у этой категории лиц.

Таблица 5. Показания для практически здоровых лиц
Table 5. Indications for healthy individuals

Основные показатели КПНТ/Key indicators cardiopulmonary exercise testing		
Прогнозируемый процент пикового V _{o2} / Projected percentage of peak V _{o2}	Кривая V _E /V _{co2} / Curve V _E /V _{co2}	EOV
> 100%	Дыхательный класс I <30,0	не обнаружено
75-99%	Дыхательный класс II 30,0-35,9	
50%-74%	Дыхательный класс III 36,0-44,9	обнаружено
< 50%	Дыхательный класс IV ≥ 45,0	
Стандартные показатели НТ/ Typical NT		
Гемодинамические/ Hemodynamic	ЭКГ/ ECG	Восстановление ЧСС/ Recovery in heart rate
Повышение САД во время выполнения НТ: 40 мм.рт.ст./3,5 мл O ₂ x кг ⁻¹ x мин ⁻¹ увеличение Vo ₂ и неизменное/ незначительное повышенное ДАД	Нет устойчивых аритмий, очагов эктопической активности и/или изменений сегмента ST во время или после проведения НТ	> 12 ударов в 1-ю мин восстановления
Гипертензивная реакция: значительное повышение САД во время выполнения НТ: ≥ 20 мм.рт.ст./3,5 мл O ₂ x кг ⁻¹ x мин ⁻¹ увеличение Vo ₂ или повышение ДАД: не привели к прекращению НТ	Изменения ритма, очаги эктопической активности и/или изменения сегмента ST во время или после проведения НТ: привели к прекращению НТ	≤12 ударов в 1-ю мин восстановления
Гипертензивная реакция: значительное повышение САД во время выполнения НТ: >20 мм.рт.ст./3,5 мл O ₂ x кг ⁻¹ x мин ⁻¹ увеличение Vo ₂ или повышение ДАД: привели к прекращению НТ.	Изменения ритма, очаги эктопической активности и/или изменения сегмента ST во время или после проведения НТ: привели к прекращению НТ	
Гипотензивная реакция: неизменное или сниженное САД во время НТ: привели к прекращению НТ		
Причина прекращения пациентом проведения НТ/ The reason for the patient discontinuing NT		
Мышечная слабость		Стенокардия, одышка

Примечания: КПНТ — кардиопульмональный нагрузочный тест, НТ — нагрузочный тест, САД — систолическое артериальное давление, ДАД — диастолическое артериальное давление, ЧСС — частота сердечных сокращений, ЭКГ — электрокардиограмма, V_E/V_{CO2} — отношение минутного объема дыхания к продукции углекислого газа, V_{o2} — потребление кислорода, EOV- осциляторная нагрузочная вентиляция.

Согласно данным имеющихся исследований оценка вентиляторной эффективности дает представление о сердечно-легочном взаимодействии и функции и, при возникновении патологии, связана с более низкими уровнями аэробной мощности.

- Все показатели зеленого цвета: нормальная реакция и превосходный прогноз
- Большинство показателей КПНТ и стандартных НТ в красном/оранжевом/желтом цветах указывают на ненормальную реакцию на НТ
 - Отклоняющийся от нормы ответ на НТ указывает на возможную субклиническую патологию, увеличение риска инфекционных заболеваний и плохой прогноз
 - Необходимо исследовать механизмы отклоняющегося от нормы ответа

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА И ДЫХАТЕЛЬНОГО ОБЪЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЛЕРАНТНОСТИ К АЭРОБНОЙ НАГРУЗКЕ И РАЗРАБОТКИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПРОГРАММ ТРЕНИРОВОК

Как показали результаты исследований, раннее начало реабилитационных программ среди больных сердечно-сосудистыми заболеваниями не только безопасно, но и эффективно в плане профилактики повторных госпитализаций. У пациентов ишемической болезнью сердца и неосложненным течением острого инфаркта миокарда включение в программу физической реабилитации возможно спустя сутки от начала события, а при осложненном его течении — сразу же после стабилизации их клинического состояния.

Всем пациентам до начала кардиореабилитации рекомендуется проведение КПНТ с определением пикового потребления O_2 и ДО. На основании этих данных, полученных во время нагрузочной пробы, рассчитывают оптимальную тренировочную нагрузку по методике, основанной на практических рекомендациях Американской коллегии спортивной медицины, согласно которым целевое потребление O_2 не должно превышать 50–60% от пикового его потребления. Так, если на фоне 12-недельной программы кардиореабилитации с использованием нагрузок умеренной интенсивности и частоты было отмечено достоверное увеличение пикового потребления O_2 , то это указывает не только на повышение тренированности пациента, но и на хороший прогноз [13].

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ КАРДИОПУЛЬМОНАЛЬНОГО НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ, ДЕМОНСТРИРУЮЩИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНУЮ ЗНАЧИМОСТЬ

Изучая различные источники литературы, авторы рекомендаций пришли к выводу, что некоторые переменные КПНТ имеют потенциальную значимость, однако в настоящее время не включены в алго-

ритмы ввиду нескольких причин: отсутствие четких пороговых значений и ограниченная доказательная база. Тем не менее, они считают, что эти переменные заслуживают некоторого обсуждения.

Показатель эффективности потребления кислорода (OUES, oxygen uptake efficiency slope) характеризует эффективность вентиляции легких: возможность наибольшего усвоения O_2 в единицу объема их вентиляции. OUES рассчитывается с помощью функции slope как отношение пикового потребления O_2 к десятичному логарифму вентиляции легких до уровня анаэробного порога или точки респираторной компенсации. Установлено, что у пациентов с СН наблюдалось статистически значимое снижение OUES по сравнению с контрольной группой здоровых лиц. При этом значения OUES уменьшались в соответствии с тяжестью СН.

Дыхательная мощность (EVP, Exercise Ventilatory Power) представляет собой мощный прогностический маркер, который сочетает гемодинамические и респираторные нарушения, возникающие во время нагрузки. Этот респираторный индекс определяют как отношение между пиковым систолическим артериальным давлением и V_E/V_{CO_2} . Результаты исследований показали, что EVP отражает тяжесть СН: снижение этого параметра особенно показательно для нарушения функции правых отделов сердца.

Сердечная мощность является продуктом пикового потребления O_2 и систолического артериального давления. Имеются убедительные данные, указывающие на то, что у больных с СН низкая сердечная мощность ассоциируется с неблагоприятным исходом.

НЕИНВАЗИВНАЯ ОЦЕНКА СЕРДЕЧНОГО ВЫБРОСА

На сегодняшний день существует несколько методик измерения СВ, включая инвазивные и неинвазивные. Так, метод артериальной термодилуции основан на анализе изменений температуры артериальной крови. Индикатор (охлажденный изотонический раствор) вводят в центральный венозный катетер, а кривую терморазведения регистрируют с помощью термодилуционного катетера, введенного в бедренную или плечевую артерию. После измерения СВ методом артериальной термодилуции полученные данные ударного выброса принимают за базовый уровень. В дальнейшем значения СВ вычисляют исходя из результатов математической обработки кривой артериального давления.

Эталонным методом неинвазивного измерения СВ является метод Фика, который включает определение артериовенозной разницы по O_2 и измерение его потребления. Чтобы у лиц разного веса и роста

получить сопоставимые данные, СВ делят на площадь поверхности тела. Полученный показатель называется сердечным индексом.

В последние годы с целью измерения СВ активно используется торакальный биоимпеданс. Данный метод основан на измерении циклических изменений биоимпеданса (электрического сопротивления) грудной клетки в момент систолы и диастолы.

Несмотря на то, что метод Фика и метод термодилуции в настоящее время остаются золотыми стандартами измерения СВ, с этой целью возможно использование и некоторых параметров КПНТ (таких как пиковое потребление O_2). Результаты недавно проведенных исследований позволяют предположить, что неинвазивное определение сердечного индекса дополняет показатели вентиляторной неэффективности и потребления O_2 . Сочетание этих маркеров является мощным инструментом для стратификации риска.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

КПНТ дает клиницистам значительный объем дополнительной информации по сравнению с обычными исследованиями, которая при правильном применении и интерпретации позволяет улучшить качество ведения больных сердечно-сосудистыми и легочными заболеваниями. Специальный подбор протокола исследования с постепенным или быстрым увеличением нагрузки для каждого конкретного случая является необходимым элементом правильного применения КПНТ в практике. Следует отметить, что в последнее время значимую диагностическую и прогностическую ценность приобретают дополнительные параметры КПНТ, такие как показатель эффективности потребления O_2 , дыхательной и сердечной мощности. На сегодняшний день появился целый ряд новых показаний к проведению КПНТ, включающих в себя врожденные пороки сердца, предоперационную оценку при операциях на легких, легочную гипертензию и др., а для выявления дополнительной диагностической и прогностической значимости КПНТ необходимо проведение дальнейших исследований.



Список литературы/References:

1. Саидова М.А. Стресс-эхокардиография с добутамином: возможности клинического применения в кардиологической практике. РФК 2009; 4: 73-79
Saidova M.A. Dobutamine stress-echocardiography: possibility of clinical usage in cardiology practice. Rational Pharmacother Card 2009; 4: 73-79 [in Russian].
2. Mahler D.A., Horowitz M.B. Clinical evaluation of exertional dyspnea. Clin Chest Med. 1994; 15(2): 259-69.
3. Maeder M.T. Cardiopulmonary exercise testing for the evaluation of unexplained dyspnea. Ther Umsch. 2009; 66(9): 665-9.
4. Datta D., Normandin E., ZuWallack R. Cardiopulmonary exercise testing in the assessment of exertional dyspnea. Ann. Thorac. Med. 2015; 10(2): 77-86.
5. Myers J., Arena R., Cahalin L.P., et al. Cardiopulmonary Exercise Testing in Heart Failure. Curr. Probl. Cardiol. 2015; 40(8): 322-72.
6. Кербиков О.Б., Аверьянов А.В., Борская Е.Н. и др. Кардиопульмональное нагрузочное тестирование в клинической практике. Клиническая практика 2012; 2: 58-70
Kerbikov O., Averyanov A., Borskaya E. et al. Cardiopulmonary exercise testing in clinical practice. Clinicalpractice 2012; 2: 58-70 [in Russian].
7. Постникова Л.Б., Доровской И.А., Костров В.А. и др. Возможности кардиопульмонального нагрузочного тестирования в оценке физической работоспособности и функционального состояния дыхательной системы у здоровых лиц. Вестник современной клинической медицины 2015; 1(8): 35-42
Postnikova L.B., Dorovskoy I.A., Kostrov V.A. et al. A capability of cardiopulmonary exercise testing in the assessment of physical health and functional condition of respiratory system in healthy persons. Vestnik sovremennoy klinicheskoy meditsiny 2015; 1(8): 35-42 [in Russian].
8. Mathur R.S., Revill S.M., Vara D.D. et al. Comparison of peak oxygen consumption during cycle and treadmill exercise in severe chronic obstructive pulmonary disease. Thorax. 1995; 50(8): 829-833.
9. Hills A.P., Mokhtar N., Byrne N.M. Assessment of Physical Activity and Energy Expenditure: An Overview of Objective Measures. Frontiers in Nutrition. 2014; 1:5.
10. Jacobs K.A., Burns P., Kressler J., Nash M.S. Heavy reliance on carbohydrate across a wide range of exercise intensities during voluntary arm ergometry in persons with paraplegia. The Journal of Spinal Cord Medicine 2013; 36(5): 427-435.
11. Guazzi M., Adams V., Conraads V. et al. EACPR/AHA scientific statement: clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. Circulation 2012; 126: 2261-2274.
12. Guazzi M., Arena R., Halle M. et al. 2016 Focused Update: Clinical Recommendations for Cardiopulmonary Exercise Testing Data Assessment in Specific Patient Populations. Circulation 2016; 133: e694-e711.
13. Корецкий С.Н., Шабалкин Б.В., Жбанов И.В. и др. Оценка эффективности физических тренировок у пациентов среднего и высокого риска после аорто-коронарного шунтирования с помощью эргоспирометрии. Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия 2009; 6: 12-15
Koretskiy S.N., Shabalkin B.V., Zhanov I.V. et al. Evaluation of the effectiveness of physical exercise in middle and high-risk patients after coronary artery bypass grafting using ergospirometry. Kardiologiya i serdечно-sosudistaya khirurgiya 2009; 6: 12-15 [in Russian].
14. Мустафина М.Х., Черняк А.В. Кардиореспираторный нагрузочный тест. Практическая пульмонология 2013; 3: 56-62
Mustafina M.Kh., Chernyak A.V. Cardiopulmonary exercise test. Prakticheskaya pulmonologiya 2013; 3: 56-62 [in Russian].

*Авторы заявляют, что данная работа, её тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов/
The authors state that this work, its theme, subject and content do not affect competing interests*

Статья получена/article received 01.09.2016 г.