



Выявление Актуальных Аспектов Применения Кардиопульмонального Нагрузочного Тестирования На Практике

Кабулова Мухаббат Рустамовна

Розыходжаева Гульнора Ахмедовна

Ургенчской филиал Ташкентской медицинской академии

Центральная клиническая больница №1 ГМУ при Администрации Президента
Республики Узбекистан

Аннотация. Обзор посвящается клиническому применению кардиопульмонального нагрузочного тестирования (КПНТ). Рассматриваются основные режимы и методики проведения КПНТ, наиболее значимые протоколы исследования. Разобраны важнейшие показатели, оцениваемые в процессе проведения КПНТ, показано их физиологическое значение и изменения при различных заболеваниях. Приведены клинические показания к проведению КПНТ, рассмотрено применение нагрузочного тестирования при сердечной недостаточности, у пациентов страдающих одышкой, заболеваниями легких. Продемонстрировано использование КПНТ при реабилитации (после перенесенного инфаркта). Уделено внимание новым направлениям применения КПНТ, таким как врожденные пороки, оценка состояния пациентов, направляемых на оперативное вмешательство, связанное с частичной резекцией легкого и ряду других.

Ключевые слова: кардиопульмональное тестирование, велоэргометр, тредмил, сердечная недостаточность, одышка неясного происхождения.

Нагрузочное тестирование с дополнительным измерением параметров газообмена является надежным диагностическим инструментом, который предоставляет значимую диагностическую и прогностическую информацию о состоянии больных с сердечнососудистыми и легочными заболеваниями. Однако их широкое использование в клинической практике ограничивается целым рядом факторов: сложностью самих систем, требующих от врача глубоких знаний, ограниченностью курсов обучения таких специалистов и недостатком понимания значимости кардиопульмонального нагрузочного тестирования (КПНТ) клиницистом. Современные системы КПНТ позволяют анализировать газообмен в состоянии покоя, во время нагрузки и в период восстановления и измеряют следующие основные показатели в течение каждого дыхательного цикла: потребление кислорода (VO_2), выдыхаемый углекислый газ (VCO_2) и вентиляционные параметры. 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.

Физиология газообмена в норме и патологии.

Газообмен может быть условно разбит на три основных составляющих .

1. Легочная вентиляция. Движение воздуха в легкие и из легких.
2. Легочная диффузия. Обмен O_2 и CO_2 между легкими и кровью.
3. Капиллярный газообмен или обмен CO_2 между кровью в капиллярах и тканями.

Первые два процесса называются внешним дыханием, потому что они включают в себя перемещение газов из окружающего воздуха в кровь и обратно. Третий процесс называется внутренним дыханием, потому что он отражает газообмен между тканями организма и кровью.

Внешнее и внутреннее дыхание связано между собой системой кровообращения, которая обеспечивает транспорт O_2 и CO_2 форменными элементами крови. Увеличение потребления кислорода работающими мышцами приводит к увеличению сердечного выброса



(ЧСС × ударный объем), который может увеличиваться в шесть раз. Параллельно с этим происходит перераспределение крови от неактивных тканей (селезенка, почки) к скелетным мышцам, что также способствует улучшению доставки кислорода. Одновременно усиливается приток крови к легким, благодаря увеличению сердечного выброса и вазодилатации легочных сосудов. Дополнительным механизмом является увеличение экстракции кислорода из крови работающими мышцами, что ведет к повышению артерио-венозной разницы по кислороду. В норме минутная вентиляция (VE) увеличивается пропорционально физической нагрузке. Важно понимать, что во время дыхания только часть вдыхаемого воздуха достигает альвеол, где собственно и происходит газообмен. Другая часть остается в дыхательных путях, не участвующих в газообмене (так называемое мертвое пространство – VD). Во время нагрузки происходит расширение дыхательных путей, что приводит к соответствующему увеличению объема VD, однако одновременное увеличение дыхательного объема поддерживает адекватную альвеолярную вентиляцию и газообмен. Вся совокупность этих процессов называется нормальным вентиляционно-перфузионным соответствием. Увеличение вентиляции во время нагрузки должно сопровождаться усилением потока крови и пропорциональным увеличением сердечного выброса, который должен соответствовать повышенной вентиляции. Различные заболевания приводят к нарушению данных соотношений. Например, при рестриктивной патологии легких толерантность к нагрузке ограничивается вследствие уменьшения объема здоровой ткани легких, в которой собственно и происходит газообмен. Одним из важнейших признаков сердечной недостаточности является недостаточное увеличение сердечного выброса в ответ на нагрузку. Это приводит к несоответствию вентиляции и перфузии, и к непропорциональному росту вентиляции для компенсации метаболических потребностей в условиях неадекватной перфузии. Степень непропорционального увеличения вентиляции во время выполнения нагрузки напрямую связана с тяжестью заболевания и является одним из важных прогностических факторов.

Ценность КПНТ заключается в том, что дополнительная нагрузка, создающаяся во время исследования, на механизмы, отвечающие за внешнее и внутреннее дыхание, позволяет выявить нарушения, которые незаметны в состоянии покоя, а также дает возможность оценить способность организма переносить физическую нагрузку и позволяет выявить причину нарушения толерантности к физической нагрузке, даже при отсутствии клинических симптомов.

Оборудование и методология КПНТ проводится в двух основных режимах: на беговой дорожке (тредмил) и велоэргометре. Беговая дорожка позволяет осуществлять постоянно нарастающую нагрузку через комбинацию увеличения скорости и степени увеличения угла наклона поверхности. Протоколы с постепенным увеличением нагрузки (Брюс, Балке, Наугтон) являются очень популярным и подбираются в каждом конкретном случае в зависимости от тяжести состояния пациента. Как правило, увеличение нагрузки происходит постепенно в интервалах от 6 до 60 секунд. Выбор протокола должен быть индивидуализирован и, в большинстве случаев, ориентирован таким образом, чтобы продолжительность исследования составляла от 8 до 12 минут до появления симптомов физической слабости, не позволяющих продолжать дальнейшее тестирование. При продолжительности исследования меньше 6 минут нелинейная зависимость между VO₂ и уровнем нагрузки может получаться даже при использовании протоколов с умеренным ее увеличением. С другой стороны, если заданная продолжительность исследования превышает 12 мин, пациенты могут прекратить тестирование из-за развития симптомов мышечной слабости раньше, чем достигнуты необходимые конечные точки. Кроме этого широко применяются протоколы со стабильной нагрузкой. Наиболее низкая скорость беговой дорожки (1-1,2 км/ч) может использоваться как базовый уровень для нагрузочного тестирования. Протоколы с постоянной нагрузкой приобретают все большую популярность из-за удобства мониторинга оценки на терапевтические вмешательства, включая реакцию сердечно-сосудистой системы на бронходилататоры и другие препараты и применение



различных медицинских устройств. Подобные протоколы также полезны для анализа динамической гипервентиляции и кинетики газообмена. Тестирование на тредмиле имеет несколько преимуществ над велоэргометрией. Для большинства людей беговая дорожка является более привычной формой упражнений. Ходьба и бег требует вовлечения большего числа мышц, что приводит к большей нагрузке на все системы органов, через которые опосредуется ответ на упражнения. Вследствие этого максимальное потребление кислорода на 5-10% выше на беговой дорожке, по сравнению с велоэргометром. Это особенно важно для спортсменов, для которых определение максимального VO_2 является исключительно важным. Если результаты КПНТ используются в качестве основания для установления необходимого уровня физической нагрузки для пациентов, то при повторных исследованиях важно использовать тот же самый режим, что и первоначально. Основным недостатком беговой дорожки заключается в трудности точного подсчета внешней нагрузки человека во время выполнения упражнений, в частности в связи с влиянием массы тела. Велоэргометр предпочтительней у пациентов с нарушением походки или равновесия, а также при ожирении, ортопедических нарушениях и при одновременном эхокардиографическом исследовании. Велоэргометр требует меньше пространства для проведения исследования, его себестоимость ниже и при его использовании наблюдается меньшее количество артефактов при записи ЭКГ. Современные велоэргометры с электронной системой тормозов могут обеспечить одинаковый уровень физической нагрузки при различной скорости кручения педалей. Сравнительная характеристика велоэргометра и беговой дорожки приведена в таблице 1.

Таблица 1

Достоинства и недостатки велоэргометра и тредмила на основании данных [19, 20] с модификацией

Параметры	Велоэргометр	Тредмил
VO_2 макс	Значения ниже	Значения выше
Измерение рабочей нагрузки	Более точное	Оценочное
Шум и артефакты	Меньше	Больше
Влияние избыточного веса	Меньше	Больше
Безопасность	Больше	Меньше
Рекомендовано	Для пациентов с нарушением походки, с постинсультной реабилитации	Для спортсменов, для пациентов с нарушением толерантности к нагрузке

Помимо этого используется ручная эргометрия для оценки функциональных возможностей у спортсменов параолимпийцев на кресле-каталке и у пациентов с нарушением функций нижних конечностей. Однако у большинства людей из-за меньшей мышечной массы в верхних конечностях невозможно достичь сопоставимых результатов с таковыми, регистрирующимися при использовании КПНТ на нижних конечностях.

Основные параметры и их характеристика

1. Потребление кислорода (VO_2) – количество кислорода, потребляемого телом каждую минуту. Оно рассчитывается по минутной вентиляции и показателям концентрации кислорода на вдохе и выдохе и стандартизируется по температуре тела (37°C), температуре окружающей среды (0°C), барометрическому давлению (101,3 кПа) в условиях нулевой влажности. В норме VO_2 увеличивается практически линейно при увеличении внешней нагрузки. Уровень внешней нагрузки точно измеряется на велоэргометре, но он может быть лишь приблизительно оценен при использовании беговой дорожки. Кривая VO_2 – внешняя нагрузка – отражает эффективность метаболизма и преобразования потенциальной химической энергии в механическую работу и, таким образом, с ее помощью можно оценить общую механическую эффективность мышечно-скелетной системы.



2. Максимальное потребление кислорода ($VO_2 \max$). Данный параметр определяет границы возможностей сердечно-легочной системы при пиковой нагрузке. Определяется уравнением Фика, как результат сердечного выброса и артерио-венозной разницы по кислороду: $VO_2 \max = (ЧСС \times \text{ударный объем}) \times \text{SatO}_2$, где Sat – сатурация кислорода измеряется в литрах кислорода в минуту, но обычно выражается в мл кислорода на 1 кг массы тела в минуту. Измерение $VO_2 \max$ подразумевает, что достигнут максимальный физиологический предел для данного конкретного индивидуума (также называемый максимальным аэробным пределом). Истинная $VO_2 \max$ обычно определяется как плато в графике VO_2 между двумя финальными уровнями нагрузки и требует достижения и поддержания максимального усилия в течение определенного времени. Это определение является субъективным. $VO_2 \max$ редко наблюдается у пациентов с сердечно-сосудистыми или легочными заболеваниями и в связи с этим для описания нагрузочной возможности в клинике чаще используется пиковая VO_2 . $VO_2 \max$ чаще всего применяется у спортсменов, у которых достижение максимального физиологического ответа является наиболее вероятным. Значения $VO_2 \max$ может увеличиваться в 15 раз от 3,5 мл/мин/кг в состоянии покоя до максимальных величин, составляющих 30-50 мл/мин/кг. У спортсменов значение данного показателя может возрастать в 20 раз (до 80 мл/мин/кг)

3. Продукция углекислого газа (VCO_2) – это количество CO_2 , вырабатываемое организмом каждую минуту. Показатель рассчитывается, исходя из концентрации углекислого газа на вдохе и выдохе. При непродолжительной нагрузке основным источником энергии является гликоген и взаимосвязь между потреблением кислорода и продукцией углекислого газа практически эквивалентна. При прогрессивном увеличении нагрузки VCO_2 увеличивается в той же мере, что и VO_2 и соотношение VCO_2 - VO_2 остается немногим меньше единицы. При достижении анаэробного предела обычно наблюдается резкое изменение угла наклона кривой VCO_2 - VO_2 , однако зависимость все равно имеет линейный характер. Более крутой угол наклона кривой означает большую выработку углекислого газа по сравнению с потреблением O_2 при включении анаэробных механизмов. Избыточное количество VCO_2 в выдыхаемом воздухе также может быть результатом «вымывания» CO_2 из организма из-за гипервентиляции.

4. Отношение VCO_2 к VO_2 (VCO_2/VO_2) называется соотношением газообмена или RER – respiratory exchange ratio. Значение коэффициента RER больше 1 может быть вызвано увеличением выработки CO_2 из молочной кислоты или избыточной продукцией CO_2 вследствие гипервентиляции (значительное количество CO_2 содержится в крови, так как растворимость CO_2 в жидкости в 20 раз больше, чем O_2 и гипервентиляция способствует увеличению концентрации CO_2 в выдыхаемом воздухе за счет уменьшения его содержания в крови). Пиковое значение RER является надежным и точным маркером усилий конкретного индивидуума. $RER \geq 1,10$ обычно расценивается как показатель очень значительных усилий во время КПК, но не является показанием к прекращению исследования. Значение RER менее 1,00 при прекращении исследования по просьбе пациента при отсутствии электрокардиографических и гемодинамических нарушений указывает на субмаксимальный уровень сердечно-сосудистой нагрузки. Такая картина обычно наблюдается у больных с легочными заболеваниями, ограничивающими физическую нагрузку. Оценка пиковой RER имеет большое значение при оценке терапевтических вмешательств, когда задачей является одинаковый уровень усилий пациента при серии последовательных тестов. Значительные изменения способности к нагрузке во время повторного исследования при сопоставимых значениях пиковой RER является серьезным основанием утверждать, что полученные изменения вторичны по отношению к терапевтическому вмешательству, если тестирование проводилось в тех же условиях с применением одинаковых протоколов. Большинство людей достигает дыхательного предела при значениях $RER \geq 1$, однако в некоторых случаях дыхательный предел может наблюдаться и при значениях $RER < 1$.

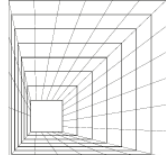


5. Минутная вентиляция (VE) – это объем воздуха, который пациент выдыхает каждую минуту, выраженный в литрах в минуту, при стандартных условиях по температуре тела (37°C), температуре окружающей среды (0°C), барометрическому давлению (101,3 кПа) и отсутствию влажности.

6. Анаэробный предел (анаэробный порог). Также он называется лактатным или дыхательным пределом. Рассматривается как момент, с которого начинается развитие метаболического ацидоза, вызванного в основном увеличением концентрации лактата в артериальной крови во время упражнений.

Дыхательный предел – это момент, в который VE начинает расти экспоненциально относительно VO₂. Считается, что этот дыхательный предел отражает анаэробный предел, при достижении которого начинается быстрое увеличение лактата в артериальной крови. Концепция анаэробного предела основывается на том, что при достижении определенного уровня нагрузки снабжение кислородом тканей не соответствует потребностям в кислороде. Это несоответствие увеличивает зависимость от анаэробного гликолиза для обеспечения потребности в энергии, что и приводит к увеличению концентрации лактата. Увеличение минутной вентиляции необходимо для удаления избытков CO₂, как результат превращения молочной кислоты в лактат. Тем не менее, до сих пор, несмотря на многочисленные исследования, существуют определенные противоречия в трактовке физиологических механизмов, отвечающих за увеличение концентрации лактата в крови и мышцах при достижении анаэробного предела. Мышечные волокна отличаются по соотношению оксидативных и гликолитических ферментов, т. е. по преобладанию аэробного или анаэробного механизмов. При низкой и умеренной нагрузке в работу преимущественно вовлекаются волокна, которые являются оксидативными, но по мере увеличения нагрузки происходит постепенное включение волокон, с преобладанием гликолитического механизма, что в итоге увеличивает продукцию лактата. Таким образом, трудно однозначно утверждать, в какой мере относительный дефицит снабжения кислородом ответственен за это увеличение. Возможно высказать предположение, что оба процесса, т.е. вовлечение мышечных волокон с преимущественно анаэробным гликолизом, а также увеличение анаэробного гликолиза вследствие дефицита кислорода по отношению к потребности способствуют увеличению выработки лактата. Относительный вклад различных источников молочной кислоты может варьироваться при различных заболеваниях. Например, при сердечной недостаточности важнейшим фактором является уменьшенная способность снабжением кислородом, таким образом, при увеличении нагрузки прирост концентрации лактата происходит раньше, чем у здоровых людей. Существует несколько методов определения дыхательного предела, наиболее распространенными из которых являются следующие: изменение угла наклона на графике VCO₂-VO₂; точка, в которой системное увеличение вентиляционного эквивалента по кислороду (VE-VO₂) происходит без увеличения вентиляционного эквивалента по вентиляционному CO₂; точка, в которой систематическое увеличение кислорода на вдохе происходит без снижения давления углекислого газа. Оценка дыхательного предела всеми тремя методами приводит к хорошей аппроксимации анаэробного предела, оцениваемого с помощью концентрации лактата в крови. Дыхательный предел измеряют в абсолютных значениях (мл/кг/мин). В норме анаэробный предел достигается приблизительно в 50-60% от VO₂ max у здоровых нетренированных людей и обычно процент увеличивается у спортсменов. Значения дыхательного предела отличаются высокой надежностью при повторных исследованиях.

Оценка легочной функции. Исследование легочной механики, выполненное до нагрузочного тестирования дает основание для анализа нормальности паттернов дыхания и позволяет оценить вероятность того, что именно нарушения функции легких ограничивают толерантность к нагрузке. Обычная спирометрия, выполненная перед нагрузочным тестированием, измеряет жизненную емкость легких, объем форсированного выдоха за первую секунду, а также максимальную вентиляцию легких. Резерв дыхания при выполнении

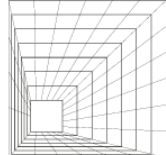


упражнения является индикатором того, насколько близко легочная вентиляция приближается к максимальной вентиляции легких и обычно вычисляется как $1 - (\text{пиковая вентиляция}/\text{максимальная вентиляция легких})$. В норме этот показатель у здоровых лиц превышает 0,2. Спортсмены с высоким сердечно-сосудистым резервом могут использовать значительно большую часть функциональной возможности легких и при выполнении физической нагрузки их легочная вентиляция приближается к максимальным значениям, что отражается в низком или нулевом резерве дыхания. КПНТ оказывается полезным при широком спектре различных клинических состояний. Его результаты играют роль на всех стадиях ведения пациента, начиная от постановки диагноза, оценки тяжести состояния, прогноза и заканчивая результатами лечения. Показания и применение КПНТ в клинической практике сведены в таблицу 2, на основании адаптации данных.

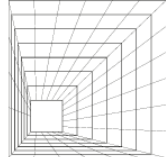
Таблица 2

Показания и применение КПНТ в клинической практике

Показания		Комментарии
1. Оценка переносимости физической нагрузки:	Определение функциональных нарушений (пиковая VO ₂)	
	Определение факторов, ограничивающих физическую нагрузку	
2. Оценка не диагностированной непереносимости физической нагрузки:	Оценка вклада сердечной и легочной этиологии	
	Симптомы, которые непропорциональны результатам исследования состояния сердечно-легочных систем в покое	
3. Оценка состояния пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями:	Функциональная оценка и прогноз у пациентов с сердечной недостаточностью (СН)	Степень ограничения физической нагрузки из-за СН. Класс 2а, уровень доказательности С.
	Отбор пациентов для трансплантации сердца	Класс 2а, степень доказательности В
	Мониторинг пациента при проведении упражнений во время реабилитации после перенесенных сердечных катастроф или после инсульта	Определение уровня физической активности в комплексной реабилитации больных с СН. Диагностика ишемии



		миокарда, вызванной физической нагрузкой Класс 1, степень доказательности С.
	Аритмия	Влияние мерцательной аритмии на переносимость физической нагрузки
4. Оценка состояния пациента с легочными заболеваниями:	Оценка функциональных нарушений	Для оценки ограничений к упражнениям и возможных сопутствующих факторов, например скрытой ИБС.
	Хронические обструктивные легочные заболевания (ХОЛЗ)	Для определения степени гипоксемии и дальнейшего использования кислорода. Для оценки необходимости терапевтических вмешательств, когда недостаточно данных стандартного тестирования функции легких
	Легочная гипертензия	Оценка тяжести заболевания, дифференциация пациентов с ХОБЛ по наличию легочной гипертензии. Прогноз выживаемости при легочной гипертензии
	Интерстициальные болезни легких	Определение скрытых/ранних нарушений газообмена общая оценка и мониторинг состояния легочного газообмена
	Определение терапевтического ответа на действие препаратов и воздействие медицинских приборов	
	Легочно-сосудистые заболевания и бронхоспазм, вызванный нагрузкой	Определение факторов, потенциально ограничивающих физическую нагрузку.



5. Специальные клинические применения	Оценка физической нагрузки при легочной реабилитации	
	Оценка степени функциональных нарушений при различных вмешательствах	Предоперационная оценка состояния при операции по резекции части легкого. У пожилых пациентов, перед большими операциями на органах брюшной полости
	Оценка пациентов с трансплантацией легких	Функциональное состояние пациентов после перенесенной операции.
	Оценка функции пейсмекеров (искусственных водителей ритма сердца)	Оценка работы пейсмекеров с автоматически меняющимся в зависимости от нагрузки ритмом

Сердечная недостаточность (СН).

Уменьшенная толерантность к физической нагрузке является одним из важных симптомов СН. В ее развитие вносит вклад множество различных факторов, включающих недостаточность снабжения кислородом из-за нарушения систолической и диастолической функции, неадекватного распределения кровотока в периферической циркуляции, снижение ответа на действие нагрузки со стороны легочного сосудистого русла, нарушения скелетных мышц, включая детренированность и патологические изменения параметров вентиляции при воздействии нагрузки. Действие всех вышеуказанных факторов ведет к снижению пиковой VO_2 у больных СН. Данный параметр является наиболее объективным критерием оценки переносимости физической нагрузки в этой группе пациентов. Определение дыхательного предела может показать, насколько близко пациент подошел к достижению своего максимально возможного усилия. Однако дыхательный предел возможно определить далеко не у всех пациентов с СН. Предсказательная значимость пиковой VO_2 у больных СН была продемонстрирована в целом ряде работ. В проспективном исследовании, в которое было включено 114 амбулаторных пациентов с СН значение пиковой VO_2 менее 14 мл/кг/мин использовалось как критерий для принятия решения о трансплантации сердца. Выживаемость в течение года у пациентов с VO_2 больше 14 мл/кг/мин составила 94%, в то время как у пациентов со сниженной VO_2 и тяжелыми сопутствующими заболеваниями она равнялась только 67%. Больные, принятые на трансплантацию сердца со значением пиковой VO_2 менее 14 мл/кг/мин имели выживаемость 70%. Однако необходимо отметить, что данный подход имеет определенные ограничения, связанные с тем, что на величину пиковой VO_2 влияют факторы, не связанные с сердцем (мышечная масса, детренированность, возраст, пол, ожирение). Для решения этой проблемы предложена нормализация пиковой VO_2 по этим факторам, однако результаты при применении такого подхода остаются противоречивыми. Интересные результаты были получены в исследовании Elmariah с соавт., посвященном оценке гендерных различий пациентов с выраженной СН. Согласно их данным, величина пиковой VO_2 у женщин значительно меньше, чем у мужчин (14.0 ± 4.9 мл/кг/мин vs 16.6 ± 7.1 мл/кг/мин для женщин и мужчин соответственно). Обе группы были сопоставимы по возрасту и клиническим характеристикам заболевания, однако выживаемость женщин (без трансплантации) оказывается выше (94% vs 81%, $p < 0,0001$ для женщин и мужчин



соответственно). Эти данные говорят о том, что необходим пересмотр существующей практики наличия единых критериев направления пациентов на трансплантацию сердца. Предсказательная возможность пикового VO_2 в настоящее время сохраняет свою актуальность даже при применении бета-блокаторов (которые увеличивают на долгосрочную выживаемость, не влияя на пиковое VO_2). Другим параметром, имеющим существенную предсказательную значимость в данной группе больных, является соотношение минутной вентиляции (VE) к VCO_2 . В ряде работ устанавливается пороговая величина этого отношения, равная 34. Если VE/V_{CO_2} превышает пороговое значение, то вероятность неблагоприятного исхода у таких больных достоверно увеличивается. Результаты двух проведенных исследований показали, что риск смертности прогрессивно увеличивается с увеличением Ve к VCO_2 от нормальных значений (меньше 30) до 40 и более. В целом, на основании всех имеющихся данных, пациенты с СН со значением пиковой VO_2 менее 10 мл/кг/мин и Ve к VCO_2 более 40 относятся к группе высокого риска и отличаются особенно неблагоприятным прогнозом. В ряде работ показано, что дозированная физическая нагрузка у пациентов с СН в рамках их реабилитации приводит к повышению значения пиковой VO_2 . Важный вопрос, заключающийся в том, насколько изменение пиковой VO_2 связано с улучшением прогноза у пациентов с систолической СН, рассматривался в рамках исследования "HeartFailure ACTION". Несмотря на все ограничения исследования (многие пациенты не выполняли предписанные физические упражнения, и конечные точки в снижении смертности и госпитализации от СН не были достигнуты) было продемонстрировано, что физическая тренировка приводит к значимому снижению смертности и госпитализации от СН.

Сердечная недостаточность с нормальной фракцией выброса

Пациенты с СН, связанной с диастолической дисфункцией имеют сходную степень нарушения аэробного предела, что и больные с нарушением систолической функции. В то же время дыхательная эффективность, выраженная по кривой Ve/VCO_2 у пациентов с СН и диастолической дисфункцией снижается еще в большей степени по сравнению с больными СН с систолическими нарушениями. У больных с гипертрофической кардиомиопатией Арена с соавторами показал, что значение пиковой VO_2 и Ve/VCO_2 значимо коррелирует с параметрами легочной гемодинамики в покое. Нарушенный ответ на нагрузку позволяет также выявить лиц с легочной гипертензией. Начальные результаты исследования показывают, что значение Ve/VCO_2 , ациляторное дыхание при нагрузке и пиковая VO_2 могут быть значимыми предсказательными факторами неблагоприятных событий у больных с СН и нарушением диастолической функции. Однако, несмотря на все эти интересные результаты, требуются дополнительные исследования для того, чтобы уточнить клиническую значимость КПНТ у больных с нарушением диастолической функции.

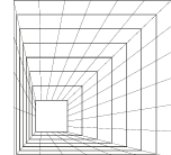
Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ).

Целый спектр разных ответов на нагрузку наблюдается у таких больных. Пациенты с ХОБЛ с умеренными и тяжелыми формами имеют обычно снижение толерантности к нагрузке и уменьшение пиковой VO_2 , в то время как у больных с легкой формой ХОБЛ пиковая VO_2 приближается к нормальным значениям.

Тем не менее, нарушение ответа на КПНТ наблюдались и у пациентов с легкой степенью ХОБЛ. Один из важнейших признаков, характерный для многих пациентов с умеренной и тяжелой ХОБЛ – снижение дыхательного резерва, сигнализирующего о значительном вкладе дыхательных факторов в ограничение физической нагрузки. Дыхательная стратегия, принятая больными с ХОБЛ во время проведения КПНТ включает учащение дыхания на фоне уменьшенного дыхательного объема.

Необъяснимая одышка

Одышка при выполнении физической нагрузки – жалоба, часто встречающаяся в клинической практике. Во многих случаях ее причину можно установить с помощью тщательного сбора анамнеза, осмотра пациента и на основании данных стандартных исследований – ЭКГ, анализа крови, спирометрии и флюорографии. КПНТ позволяет выявить



причину возникновения одышки в тех случаях, когда вышеперечисленные методы не позволяют ответить на этот вопрос, и с помощью КПНТ можно диагностировать такие состояния, как вызванные физической нагрузкой аритмия и бронхоспазм, ишемию миокарда и гипервентиляцию, однако для точной установки диагноза зачастую требуется применение специальных протоколов исследования и использование ряда дополнительных методов. Так, для диагностики бронхоспазма, возникающего на фоне физической нагрузки необходимо использовать непродолжительный высокоинтенсивный нагрузочный протокол с оценкой форсированного выдоха за 1 секунду сразу после завершения тестирования и, кроме того, оценить наличие ларингеальной дисфункции с помощью ларингоскопии. В большинстве случаев КПНТ позволяет дифференцировать одышку при физической нагрузке, зависимую от сердечно-сосудистых и легочных причин. Важнейшие характеристики нарушения толерантности к нагрузке, связанные с сердечно-сосудистыми и легочными заболеваниями приведены в таблице 3. Важно отметить, что приведенные различия не являются абсолютными и они не охватывают всех возможных вариантов. Так, например, хронические заболевания легких любой этиологии могут приводить к нарушениям легочной гемо динамики, которые, в свою очередь, способствуют развитию гемодинамических ограничений переносимости физической нагрузки. С другой стороны умеренная и тяжелая сердечная недостаточность и поражения малого круга кровообращения приводят к развитию нарушений газо обмена, обычно характерных для заболеваний легких. Интерпретация результатов КПНТ должна проводиться в контексте клинической картины заболевания и данных других методов обследования.

Таблица 3

КПНТ параметры нарушения толерантности к физической нагрузке, связанной с сердечно-сосудистыми и легочными нарушениями

Параметры	Сердечно-сосудистые причины	Легочные причины
пиковое VO ₂	снижено	Снижено
дыхательный предел	снижен	в норме/снижен
$\Delta(\text{VO}_2)/\Delta(\text{уровень нагрузки})$	часто снижена	соответствует норме
пиковая ЧСС	вариабельна, соответствует норме при легкой степени нарушений	чаще снижена
дыхательный резерв 1 – (пиковая VE/максимальная вентиляция)	>20%	<15%
Постнагрузочный форсированный выдох за 1 сек	не меняется по сравнению со значением в состоянии покоя	Чаще снижен по сравнению со значением в состоянии покоя
P(A-a) O ₂ - альвеолярно-артериальная разница давления по кислороду	обычно соответствует норме	чаще увеличена
Pa O ₂ или Sat O ₂ *	соответствует норме	чаще снижено
VE/VCO ₂	увеличено	Увеличено

* – снижение сатурации кислорода >5% по данным пульсоксиметрии – признак легочных причин ограничения физической нагрузки

КПНТ при нарушении функции мышечных волокон и митохондриальной миопатии.

Так как для функционирования аэробного гликолиза необходима слаженная работа легочных, сердечнососудистых и мышечных физиологических механизмов, то изменения в мышечном волокне и нарушения митохондриальной функции приводят к снижению аэробного потенциала. Сложности диагностики часто усиливаются вследствие



детренированности скелетных мышц. Правильное применение КПНТ может позволить диагностировать нарушения функции скелетных мышц и, в частности, митохондриальную миопатию. Для этого не обходимо оценить взаимосвязь между сердечным выбросом (Q – ось y) и изменений в VO_2 (ось x) во время выполнения упражнения прогрессивным увеличением нагрузки. Больные с первичной митохондриальной миопатией не могут адекватно использовать кислород для кислородного фосфорилирования и у таких пациентов накопление лактата происходит до вольно быстро после начала выполнения нагрузочного тестирования, что, в свою очередь, приводит к усилению сердечнососудистого и дыхательного ответа. В результате, в этой группе больных истощение и усталость наблюдаются уже на ранних стадиях после начала выполнения нагрузочного тестирования, и приводят к значительному увеличению $\Delta Q/\Delta VO_2$ (значение $\Delta Q/\Delta VO_2$ примерно составляет 15 л/мин у пациентов с митохондриальной миопатией по сравнению с 5 л/мин для здоровых добровольцев). Таким образом, снижение пиковой VO_2 в сочетании с аномальным увеличением со отношения VE/VO_2 и высоким значением $\Delta Q/\Delta VO_2$ свидетельствует о наличии миопатии и для таких пациентов нужно рассматривать возможность проведения дополнительных исследований, в частности – биопсии мышечной ткани. Возможным ограничением диагностической ценности данного параметра является сочетание митохондриальной дисфункции с сердечной недостаточностью, и так как СН при водит к снижению сердечного выброса, то и значение $\Delta Q/\Delta VO_2$ также уменьшается.

Применение КПНТ для выбора упражнений в рамках комплексной реабилитации.

Заболевания сердца.

Несмотря на то, что в большинстве случаев подбор упражнений у таких больных осуществляется с помощью ЧСС и параметров обычной ЭКГ, КПНТ может дать ценную дополнительную информацию для пациентов с одышкой, возникающей при физической нагрузке, у больных с психологическими и мотивационными проблемами и для пациентов с некоторыми мышечными нарушениями. Идентификация дыхательного предела позволяет точно определить объем необходимой нагрузки с соответствующим ему уровнем VO_2 и значением ЧСС. Пиковая $RER > 1.1$ является показателем максимального усилия и объем необходимых упражнений должен быть меньше этих значений. Уровни интенсивности упражнений различаются по ранжированию по степени усилия, резерву ЧСС (ЧСС в момент максимальной нагрузки – ЧСС покоя) или резерву VO_2 (VO_2 в момент максимальной нагрузки – VO_2 покоя) и подразделяются на следующие градации. Легкие: усилие 60% резерв ЧСС+ ЧСС в покое; > 60% резерв VO_2 + VO_2 в состоянии покоя. В большинстве случаев пациенту предписывают упражнения с умеренным усилием. Объем физической активности может увеличиваться с течением времени по мере того, как возрастает толерантность к физической нагрузке. При наличии ишемии миокарда уровень нагрузки устанавливают таким образом, чтобы ЧСС была на 10 ударов меньше той, при которой появляются изменения на ЭКГ.

Новые приложения для КПНТ

Относительно новыми приложениями для КПНТ являются пациенты с врожденными пороками сердца, больные, которым проводится резекция доли (или всего легкого), легочная гипертензия, ишемическая болезнь сердца, оценка функции искусственных водителей ритма. В последние годы появляется все больше данных о применении КПНТ у больных с врожденными пороками сердца. Однако, поскольку врожденные пороки сердца 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. А степень снижения зависит от конкретного порока сердца, причем исследования показали, что толерантность к нагрузке снижена даже у пациентов с отсутствием клинических симптомов заболевания, и их самооценка физического состояния является плохим предиктором нарушений толерантности к нагрузке по данным КПНТ. У больных с нецианотическим



врожденным пороком сердца значение $VE/VCO_2 > 38$ 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. 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 пиковой VO_2 выше 15 мл/мин/кг показывает отсутствие дополнительного увеличения риска периоперативных осложнений относительно больных с минимальной степенью подобного риска. В тоже время, значение пиковой VO_2 менее 10 мл/мин/кг ассоциировано с повышенным периоперативным риском долевой, субтотальной или тотальной резекции и этот увеличенный риск надо принимать во внимание при оценке пользы от оперативного вмешательства. Помимо онкологических больных, КПНТ применяется при оценке риска осложнений оперативного вмешательства по поводу эмфиземы легких.

Заключение

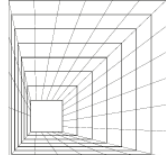
Заключение и основные положения КПНТ дает клиницистам значительный объем дополнительной информации по сравнению с обычными исследованиями, которая при правильном применении и интерпретации позволяет улучшить ведение больных сердечно-сосудистыми и легочными заболеваниями. Специальный подбор протокола исследования с постепенным или быстрым увеличением нагрузки, постоянной нагрузкой и т. п. для каждого конкретного случая является необходимым элементом правильного применения КПНТ в практике. Несколько параметров, измеряемых в процессе исследования, предоставляют наиболее значимую информацию. Чаще всего используются пиковая VO_2 , дыхательный предел, RER, VE/VCO_2 , VE /максимальная вентиляция легких и сатурация кислорода. Интеграция данных КПНТ с ЭКГ во время проведения исследования существенно увеличивает возможности нагрузочного тестирования. Электрокардиографические критерии являются важной составной частью оценки влияния физической нагрузки. Дополнительные параметры, такие как величина сердечного выброса, могут в ряде случаев иметь значимую диагностическую и прогностическую ценность. Наиболее распространенные применения включают в себя сердечную недостаточность и одышку, не объяснимую данными обычных видов исследований. Появился целый ряд новых показаний к КПНТ, включающих в себя врожденные пороки сердца, предоперационную оценку при операциях на легких, легочную гипертензию, оценку функции искусственных водителей ритма. Дальнейшие исследования необходимы для выявления дополнительной диагностической и прогностической значимости КПНТ при этих и некоторых других состояниях.

Список литературы:

1. Анализ согласованности некоторых референсных систем при интерпретации результатов спирометрии. Российский семейный врач. 2012; 16(2): 23–28. Клемент Р.Ф., Лаврушин А.А., Котегов Ю.М. и соавт.
3. Федеральные клинические рекомендации Российского респираторного общества по использованию метода спирометрии. Пульмонология. 2014; 6: 11–23.
4. Bronchodilator responsiveness using spirometry in healthy and asthmatic preschool children. Arch. Dis. Child. 2013; 98 (2): 112–117. DOI: 10.1136/archdischild-2012-301819. Burity E.F., Pereira C.A., Jones M.H. et al.
5. Bronchodilator response cut-off points and FEV 0.75 reference values for spirometry in preschoolers. J. Bras. Pneumol. 2016; 42 (5): 326–332. DOI: 10.1590/S1806-37562015000000216. Cerveri I., Pellegrino R., Dore R. et al.
6. Update an official American Thoracic Society and European Respiratory Society technical statement. Am. J. Respir. Crit. Care Med. 2019; 200 (8): e70–e88. DOI: 10.1164/rccm.201908-1590ST.



7. Maron BJ, Desai MY, Nishimura RA, et al. Diagnosis and Evaluation of Hypertrophic Cardiomyopathy: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol* 2022;79(4):372-389. doi:10.1016/j.jacc.2021.12.002
8. Olivotto I, Oreziak A, Barriales-Villa R, et al: Mavacamten for treatment of symptomatic obstructive hypertrophic cardiomyopathy (EXPLORER-HCM): a randomised, double-blind, placebo-controlled, phase 3 trial. *Lancet* 396:759–769, 2020. doi: 10.1016/S0140-6736(20)31792-X
9. Maron MS, Rowin EJ, Wessler BS, et al: Enhanced American College of Cardiology/American Heart Association Strategy for Prevention of Sudden Cardiac Death in High-Risk Patients With Hypertrophic Cardiomyopathy. *JAMA Cardiol* 4(7):644–657, 2019. doi:10.1001/jamacardio.2019.1391
10. Nguyen A, Schaff HV, Hang D, et al: Surgical myectomy versus alcohol septal ablation for obstructive hypertrophic cardiomyopathy: A propensity score-matched cohort. *J Thorac Cardiovasc Surg* 157(1):306–315.e3, 2019. doi:10.1016/j.jtcvs.2018.08.062
11. Шомуротова, Н. Ш., Дусчанов, Б. А., Зокирходжаев, Ш. Я., & Рўзметова, Д. А. (2023). СУРУНКАЛИ ГЕПАТИТ БИЛАН ХАСТАЛАНГАН БЕМОЛЛАРИНИНГ ЁЗ-КУЗ МАВСУМИДАГИ КУНЛИК ОВҚАТЛАНИШ ТАРТИБИНИ ГИГИЕНИК БАҲОЛАШ.
12. KALANDAROVA, G., & SH, S. N. (2023). SORGHONING SELIAKIYANI DAVOLASHDAGI SAMARASI
13. Sh, S. N., Shermetov, R. A., & Nurullayev, S. X. (2024). Nutritiology And Proper Nutrition. *Texas Journal of Medical Science*, 28, 21-23.
14. Шамуратова, Н. Ш., Рўзметова, Д. А., Саттарова, Н. А., & Нуруллаев, С. Х. (2024). ЖИРОНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ ЛИПИДОВ ЗЕРНОВОГО СОРГО (SORGHUM) ВИДА «КАТТА-БАШ». *International Journal of Education, Social Science & Humanities*, 12(4), 1238-1245
15. Shamuratova, N. S., Bobojanov, A. O., Nurullayev, S. X., & Ruzmetova, D. A. (2024). BIOLOGICAL AND NUTRITIONAL VALUE OF SORGHUM BY AMINO ACID COMPOSITION IN CERTAIN DISEASES. *Web of Medicine: Journal of Medicine, Practice and Nursing*, 2(5), 107-112.
16. Шамуратова, Н. Ш., Зокирходжаев, Ш. Я., & Рўзметова, И. Я. (2023, April). СУРУНКАЛИ ГЕПАТИТ ВА COVID-19 БИЛАН БИРГА КЕЧГАН ПАТОЛОГИК ЖАРАЁНДА ОВҚАТЛАНИШ СТАТУСИНИ ЎРГАНИШ ВА БАҲОЛАШ. Сборник тезисов международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития инфектологии, медицинской паразитологии, эпидемиологии и микробиологии».
17. Закирходжаев, Ш. (2021). Оқ жўхори донидан миллий пархез таомлар тайерлаш технологиялари рецептураси ва тавсиялар.
18. Kalandarova, G. D., & Sh, S. N. (2023). THE LAWS OF CORRECT DIET AND THE CONSEQUENCES OF IMPROPER DIET. *Web of Medicine: Journal of Medicine, Practice and Nursing*, 1(8), 64-67.
19. Zokirxodjaev, S. (2021). Fatty acid composition of grain sorghum lipids and justification of its use in diet therapy for chronic liver diseases.
20. ШАМУРАТОВА, Н., РУЗИМОВ, Х., & РУЗМЕТОВА, Д. (2023). БИОЛОГИЧЕСКАЯ И ДИЕТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ЗЕРНОВОЙ ПРОДУКЦИИ СОРГО ПО АМИНОКИСЛОТНОМУ СОСТАВУ ПРИ НЕКОТОРЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ.
21. Зокирходжаев, Ш. Я., Худойбергенов, А. С., Дусчанов, Б. А., Шомуротова, Н., & Масобилов, Р. П. (2020). Обоснование применения зернового сорго (джугары) в диетотерапии при хронических заболеваниях.



-
22. Шамуратова, Н. Ш., Зокирходжаев, Ш. Я., & Дусчанов, Б. А. (2022). АБУ АЛИ ИБН СИНО БОЙ МЕРОСИННИГ СУРУНКАЛИ ЖИГАР КАСАЛЛИКЛАРИ ДИЕТОТЕРАПИЯСИДА ҚЎЛЛАНИЛИШИ.
23. Shamuratova, N. S., Bobojanov, A. O., Nurullayev, S. X., & Ruzmetova, D. A. (2024). BIOLOGICAL AND NUTRITIONAL VALUE OF SORGHUM BY AMINO ACID COMPOSITION IN CERTAIN DISEASES. *Web of Medicine: Journal of Medicine, Practice and Nursing*, 2(5), 107-112.
24. Sh, S. N., Ro'zmetova, O. S., Xusinbayev, I. D., & Sh, A. S. (2024). SURUNKALI BUYRAK KASALLIGIDA GIPOAZOTEMIK DORI VOSITALARINING TA'SIR SAMARADORLIGINI O'RGANISH ORQALI DAVONI MUQOBILLASHTIRISH.
25. Sh, S. N., Kalandarova, G. D., & Xadjimetova, O. I. (2024). THE LAWS OF CORRECT DIET AND THE CONSEQUENCES OF IMPROPER DIET. *Scientific Journal Of Medical Science And Biology*, 3, 2-5.