

© Коллектив авторов, 2009

А.С. Шарыкин¹, М.А. Колесникова¹, Е.В. Шыльковская¹,
Ю.М. Иванова², В.И. Павлов²

НАГРУЗОЧНЫЕ ТЕСТЫ С ЭХОКАРДИОГРАФИЕЙ: ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

¹Детский консультативно-диагностический центр и кафедра социальной педиатрии ИУВ ФГУ

«Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова Росздрава»;

²Московский научно-практический центр спортивной медицины, Москва

В статье изложены принципы проведения нагрузочных тестов у детей, показания, противопоказания и критерии прекращения нагрузки, физиологические реакции в ответ на физическую нагрузку. Рассмотрены также диагностические возможности дозированных физических нагрузок при врожденной патологии сердца.

Ключевые слова: нагрузочные тесты, дети, врожденные пороки сердца, динамическая нагрузка, статическая нагрузка, физиологические реакции.

Authors describe principles of loading tests in children, their indications and contraindications, criteria of test stoppage, physiological reactions on physical exercise. Diagnostic possibilities of dosed physical exercises in cases of congenital heart diseases were discussed.

Key words: loading tests, children, congenital heart disease, dynamic load, static load, physiological response.

Современные диагностические исследования врожденной патологии сердца в подавляющем большинстве случаев производятся в состоянии покоя. Однако в повседневной жизни полное отсутствие мышечной деятельности встречается чрезвычайно редко. Даже если человек просто стоит или сидит, присутствует напряжение мышц, удерживающих тело в соответствующей позе. Еще более активной становится деятельность скелетных мышц при выполнении каких-либо бытовых работ и максимальной – при занятиях спортом. Наличие пороков сердца часто предъявляет повышенные требования к его работе уже в состоянии покоя. А при повышенной мышечной активности роль некоторых пороков может возрасти настолько, что приводит к неблагоприятным последствиям в виде нарушений систолической и/или диастолической функции сердца, сердечной недостаточности, ремоделированию сердца и др. В этих случаях целесообразно определенное ограничение

физической активности. С другой стороны, если пороки являются «небольшими», не создающими значительных трудностей для нормального функционирования сердца, нет оснований для таких ограничений. Таким образом, исследования в условиях дозированной физической нагрузки (ДФН) являются достаточно важными при оценке роли патологии сердца, особенно при выработке рекомендаций по той или иной физической активности пациентов. В детском возрасте преимущественно доминирует врожденная патология сердца, как правило, без поражения сократительного миокарда. В связи с этим динамические изменения полостей сердца, показатели его насосной функции в ответ на меняющиеся условия работы будут прямо связаны с функцией клапанов, шунтированием крови на уровне септальных дефектов и др. Для понимания регистрируемых изменений в работе сердца полезно вспомнить некоторые физиологические закономерности.

Контактная информация:

Шарыкин Александр Сергеевич – проф. каф. социальной педиатрии ДКДЦ ФГУ НМХЦ им. Н.И. Пирогова Росздрава

Адрес: г. Москва, ул. Делегатская, 9

Тел.: (499) 973-36-30, **E-mail:** soncar@rambler.ru

Статья поступила 1.11.10, принята к печати 20.01.10.

Реакции организма и сердца в ответ на физические нагрузки

Активация мышечных усилий приводит к изменению гомеостаза и ответным реакциям со стороны сердца и периферических сосудов, направленным на обеспечение работы скелетных мышц. Принципиально нагрузки можно разделить на две основные группы: 1) динамические, в процессе которых происходят изменения в длине скелетных мышц с ритмичными сокращениями и движениями в суставах и относительно малым напряжением внутри мышц; 2) статические, при которых изменения длины мышц и работа суставов минимальны, однако развивается значительное внутримышечное напряжение [1, 2]. При ежедневной активности в большинстве случаев присутствуют оба указанных компонента. Доминантность одного из них бывает ярко выражена при занятиях спортом. Так, к бегунам предъявляются низкие статические, но высокие динамические требования, к водным лыжникам – наоборот, высокие статические и низкие динамические, а к гребцам – высокие как статические, так и динамические требования. Выполнение нагрузки характеризуется также типом метаболизма мышц. Большинство интенсивных статических нагрузок протекает в условиях анаэробного метаболизма, в то время как динамических – в аэробных условиях. Однако при высокоинтенсивных динамических нагрузках (прыжки, спринтерский бег) также может быть достигнут анаэробный уровень. При этом экстракция кислорода из периферической крови может увеличиться в 3 раза.

Потребление кислорода. Основным следствием выполнения нагрузки является повышение потребления организмом кислорода (VO_2). Эта величина быстро растет с началом работы и достигает устойчивого состояния (steady state) уже на 3-й минуте. В этот момент частота сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД), сердечный выброс (СВ) также достигают соответствующего стабильного уровня. При максимальной возможной нагрузке определяют максимальное потребление кислорода (VO_{2max}). Данный показатель может увеличиваться по сравнению с состоянием покоя в 10 раз, достигая у здоровых детей 61 мл/мин на кг массы тела [3]. Наибольший уровень VO_{2max} регистрируют в возрасте от 15 до 30 лет, к 60 годам он составляет около $2/3$ этой величины. И среди спортсменов, и среди людей, ведущих малоподвижный образ жизни, VO_{2max} снижается на 8–10% каждые 10 лет [4]. Удобно измерять потребление кислорода во время нагрузки пропорционально величине кислорода, потребляемой в состоянии покоя, в так называемых метаболических эквивалентах (МЕ): 1 МЕ равен потреблению кислорода в $\sim 3,5$ мл/(кг·мин). Степень физической активности существенно влияет на VO_{2max} . У здоровых молодых людей через 3 недели постель-

ного режима этот параметр снижается на 25%, у умеренно активных он составляет ~ 12 МЕ, у тренированных бегунов – 18–24 МЕ [5]. Так как дети редко выполняют максимальные нагрузки, у них чаще анализируют пиковое потребление кислорода, соответствующее данной конкретно выполняемой работе.

Частота сердечных сокращений. Основным средством обеспечения доставки кислорода к работающим мышцам является увеличение СВ. Это возможно как за счет роста ударного объема (УО) сердца, так и за счет ЧСС. Наиболее быстрой реакцией у детей в ответ на нагрузку является увеличение ЧСС вследствие снижения вагального тонуса, затем возрастает симпатическая активация сердца и сосудов. У детей с нормальной функцией синусового узла ЧСС повышается пропорционально величине нагрузки; при постоянном уровне нагрузки состояние steady state (плато) достигается через 1 мин. Постепенное снижение реакции ЧСС начинается в постпубертатном периоде (0,7–0,8 уд/мин/год) [6]. Наиболее важными факторами, влияющими на ЧСС, являются тип нагрузки, положение тела во время тестирования, пол пациента, состояние здоровья (отсутствие респираторно-вирусных и других заболеваний не менее чем за 2 недели до исследования), тренированность, внешние условия (температура, влажность, высота над уровнем моря). При тредмил-тесте частота пульса в среднем бывает несколько выше, чем при велоэргометрии.

После окончания нагрузки ЧСС в норме возвращается к исходной величине в пределах 3–6 мин. Основную роль при этом играет реактивность п. vagus. У спортсменов этот механизм действует ускоренно, у нетренированных или медикаментозно леченных пациентов реакции более замедленные.

Ударный объем или ударный индекс (УИ) (УО на 1 м² площади поверхности тела) зависит от преднагрузки, постнагрузки и сократимости миокарда. У детей ударный выброс значительно ниже, чем у взрослых (45–61 мл/м²), при нагрузке регистрировали его возрастание на 8–40% [6, 7]. К сожалению, данных по исследованию здоровых детей мало. Подобные исследования в нашей стране выполнялись в основном для потребностей кардиохирургии с использованием тетраполярной грудной реографии [8, 9].

Сердечный выброс (СВ), или минутный объем сердца (МОС), или сердечный индекс (СИ) (минутный объем сердца на 1 м² площади поверхности тела) является произведением УО и ЧСС и увеличивается почти линейно с увеличением нагрузки. У здоровых детей состояние steady state достигается в пределах 2–3 мин постоянной субмаксимальной нагрузки. При этом СВ увеличивается в среднем в 2,2–3,4 раза; при выполнении максимальной нагрузки возможно возрастание СВ

в 5 раз [7, 10]. В норме легочное сосудистое русло легко принимает возросший СВ без существенного повышения легочного давления.

Для каждого данного уровня работы в положении лежа СВ выше, чем в вертикальной позиции, так как увеличен возврат венозной крови к сердцу. Маленькие дети с относительно небольшим сердцем компенсируют свой сравнительно низкий УО по сравнению с взрослыми более частым ритмом.

В норме при *динамической нагрузке* прогрессивно нарастают ЧСС, УО, систолическое АД (САД). Резистентность периферических сосудов (общее периферическое сопротивление – ОПС) и диастолическое АД (ДАД) обычно снижаются. Результатом данных изменений является увеличение СВ и доставки кислорода мышцам. УО левого желудочка (ЛЖ) в большинстве случаев увеличивается за счет более энергичного сокращения, так как повышается контрактильность миокарда вследствие повышенной симпатической стимуляции, и это приводит к уменьшению его конечного систолического объема (КСО). При больших динамических нагрузках дополнительно может увеличиваться конечный диастолический объем (КДО), т.е. включается механизм Франка–Старлинга [7]. Основным следствием систематических динамических нагрузок является преимущественно объемное воздействие на сердце и увеличение его полостей.

Статическая нагрузка сопровождается меньшими изменениями ЧСС, МОС, VO_2 . УО может вообще не изменяться, так же как и ОПС. Однако САД и ДАД, а также контрактильное состояние миокарда существенно повышаются. Возникающая нагрузка на сердце давлением и напряжением сердечной мышцы влекут за собой выраженное увеличение потребления кислорода, ресинтез АТФ и активизацию синтеза нуклеиновых кислот и белков. В результате систематических статических нагрузок развивается преимущественно гипертрофия миокарда.

В ответ на нагрузки меняется потребление кислорода миокардом; основными детерминантами этого являются ЧСС, напряжение стенки желудочка и контрактильное состояние ЛЖ [11, 12]. В свою очередь, напряжение стенки желудочка зависит от роста давления и объема. Исходя из вышеизложенного, понятно, что оба типа нагрузок приводят к повышению потребления кислорода миокардом. Однако только при динамической нагрузке можно достичь максимального или субмаксимального уровня метаболических и сердечно-сосудистых реакций. Показателем потребления кислорода миокардом является произведение САД на ЧСС (double product или rate-pressure product – RPP), оно коррелирует с коронарным кровотоком, который может возрасти во время нагрузки в 5 раз. Ишемия миокарда во время повторных исследований обычно возникает при том же самом RPP, а не при том же уровне внешней нагрузки.

При анализе реакций сердечно-сосудистой системы следует учитывать и эмоциональный компонент нагрузок, который сопровождается симпатической активацией с выбросом катехоламинов, что также приводит к повышению АД, ЧСС, контрактильности миокарда и потребления кислорода миокардом. Именно симпатикотония может провоцировать аритмии или усиливать предрасполагающую ишемию миокарда.

Методики дозированной физической нагрузки

Тесты с ДФН используют для диагностики различной патологии сердца, а также для оценки функциональных возможностей организма в целом. Основными методами являются велоэргометрия сидя или лежа и тредмил-тест. При этом используют три основных варианта нагрузок: ступенчато (по 2–3 мин) или непрерывно (каждую минуту) возрастающую нагрузку в соответствии с различными протоколами, а также постоянную субмаксимальную нагрузку (с ЧСС 75–85% от максимальной предсказуемой для данного возраста) в течение 5–10 мин. Последний вариант в наибольшей мере позволяет выявить корреляции между энергетическими затратами во время повседневной активности, симптомами и качеством жизни пациента [13]. Кроме того, выполнение подобной нагрузки в положении лежа позволяет проводить ЭХОКГ-исследование непосредственно во время упражнения.

Основными показаниями для проведения нагрузочного теста являются следующие:

- 1) выявление определенных симптомов, провоцируемых или усиливаемых нагрузкой;
- 2) выявление патологических реакций на нагрузку у детей с заболеваниями сердца или легких;
- 3) оценка результатов медикаментозного или хирургического лечения;
- 4) оценка прогноза при серийных исследованиях;
- 5) выявление базовых физических характеристик, необходимых для кардиологической, легочной или скелетно-мышечной реабилитации;
- 6) оценка функциональных возможностей для занятий любительским или профессиональным спортом.

Во время тестов анализируют следующие параметры, некоторые из которых имеют особенности у детей:

- *Субъективные ощущения*: наиболее часто дети жалуются на чувство усталости, реже – на болевые ощущения в работающих мышцах, головокружения;

- *Частота сердечных сокращений*: высокая лабильность пульса у детей не позволяет использовать только его частоту при оценке физической подготовки. Необходимо анализировать также максимальное потребление кислорода, анаэробный порог, время и общий объем выполненной работы;

- *Электрокардиографические изменения:* изменения в период реполяризации желудочков указывают на несоответствие потребностей и доставки кислорода к миокарду. Однако интерпретация изменений сегмента ST может быть затруднена при наличии блокады ножек пучка Гиса или синдрома WPW. Изменения длительности скорректированного интервала QT более 520 мс, появление альтернации зубца T, возникновение желудочковых тахикардий являются критериями риска развития жизнеугрожающих аритмий [14];

- *Ударный и минутный объем сердца,* отражающие насосную функцию сердца, определяют непосредственно во время выполнения нагрузки или в пределах 2 мин после ее окончания;

- *Артериальное давление* зависит от СВ и ПСО. В условиях нагрузки СВ возрастает больше, чем снижается ПСО в работающих мышцах, что приводит к повышению САД, рост которого пропорционален нагрузке, но редко превышает у детей 200 мм рт. ст. По окончании нагрузки исходный уровень АД в норме достигается в пределах 6 мин. Измененные реакции АД (отсутствие увеличения или даже снижение САД) свидетельствуют о том, что в условиях периферической вазодилатации сердце не в состоянии адекватно увеличить выброс. Это может наблюдаться, например, при аортальном стенозе или кардиомиопатии. ДАД у взрослых может оставаться неизменным или даже снижаться. Изменения в ответ на нагрузку у здоровых детей изучены недостаточно, в одной из работ зафиксировано его некоторое снижение при тредмил-тесте [15];

- *Оксиметрия* обычно используется у детей с ВПС для выявления гипоксемии или оценки ее углубления при нагрузке. У здоровых детей при максимальной нагрузке сатурация крови (SO₂) сохраняется выше 90%;

- *Эхокардиография.* Наиболее часто измеряемые параметры эхокардиограммы относятся к характеристикам систолической и диастолической функции ЛЖ: КСО, КДО, конечный систолический и диастолический размеры, фракция выброса, скорость раннего наполнения, толщина задней стенки и межжелудочковой перегородки и др. Вычисляются УО и МОС. Очень редко у детей можно обнаружить признаки ишемического повреждения миокарда. Если имеется врожденная патология, изучают специфические характеристики анатомии и функции сердца.

Противопоказания к проведению теста

Выполнение ДФН может быть сопряжено с определенными проблемами у некоторых пациентов [6, 13, 16]. В основном это связано с выполнением максимальной нагрузки при следующих состояниях:

- 1) плохо компенсированная сердечная недостаточность;

- 2) выраженная патология легочных сосудов (легочная гипертензия);

- 3) свежий инфаркт миокарда;

- 4) острый ревматизм с кардитом;

- 5) острый миокардит или перикардит;

- 6) выраженный аортальный стеноз;

- 7) выраженный митральный стеноз;

- 8) нарушения ритма и проводимости с комприметацией гемодинамики (мерцание и трепетание предсердий, желудочковые экстрасистолы высоких градаций, полная атриовентрикулярная блокада с ЧСС менее 50 уд/мин, приступы желудочковой тахикардии и фибрилляции в анамнезе);

- 9) гипертрофическая кардиомиопатия с эпизодами синкопе в анамнезе;

- 10) неконтролируемая выраженная артериальная гипертензия (у детей младше 11 лет эпизоды АД более 160/80 мм рт. ст., старше 11 лет – 180/100 мм рт. ст.);

- 11) синдром Марфана с опасностью расслоения аорты.

В перечисленных случаях риск выполнения максимального теста выше, чем получаемая информация, которую можно использовать для лечения детей.

Критерии прекращения нагрузки

Существуют три основных критерия прекращения нагрузки: 1) получены определенные диагностические данные, а продолжение нагрузки не даст дополнительной информации; 2) неадекватно изменяются мониторируемые показатели пациента; 3) возникшие симптомы свидетельствуют, что продолжение нагрузки приведет к ухудшению состояния пациента. Показаниями к прекращению теста являются также следующие симптомы [6, 13, 16]:

- 1) отказ ребенка от дальнейшего исследования в связи с дискомфортом, страхом, слабостью в мышцах нижних конечностей, плохо переносимыми диспноэ и тахикардией;

- 2) недостаточное увеличение или даже снижение ЧСС, особенно в сочетании со слабостью, головокружением, появлением холодного пота и другими симптомами, свидетельствующими о низком СВ;

- 3) появление болей в области сердца даже при отсутствии изменений на ЭКГ;

- 4) подъем сегмента ST ≥ 1 мм, косовосходящее или горизонтальное смещение сегмента ST > 2 мм;

- 5) появление или усиление аритмии при увеличении нагрузки (желудочковой экстрасистолии более 1:10, суправентрикулярной тахикардии, мерцательной аритмии, атриовентрикулярной блокады);

- 6) выраженная артериальная гипертензия (САД более 200 мм рт. ст. или ДАД более 100 мм рт. ст.);

- 7) прогрессирующее снижение САД (на 10 мм рт. ст. и более) при увеличении нагрузки;

8) прогрессивное снижение сатурации крови или ее снижение на 10 пунктов по сравнению с исходным уровнем.

Выполнение ДФН, помимо патологических реакций со стороны сердечно-сосудистой системы, позволяет оценить и общую работоспособность

пациента. При сниженной работоспособности необходимо получить ответ о причине этого явления: имеется недостаточная мотивация, недостаточная тренированность пациента, или же выполнение нагрузки сдерживается патологией сердечно-сосудистой системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mitchell JH, Wildenthal WL. Static (isometric) exercise and the heart: physiological and clinical considerations. *Annu. Rev. Med.* 1974; 25: 369–381.
2. Asmussen E. Similarities and dissimilarities between static and dynamic exercise. *Circ. Res.* 1981; 48 (Suppl 1): 3–10.
3. Freedson PS, Goodman TL. Measurement of oxygen consumption. In: *Pediatric laboratory exercise testing: Clinical Guidelines*. Ed. Rowland T.W. Champaign, III: Human Kinetics Publishers, 1993: 67–90.
4. Cohn JN. Quantitative exercise testing for the cardiac patient: the value of monitoring gas exchange: introduction. *Circulation.* 1987; 76 (Suppl 6): 1–2.
5. Fletcher GF, Balady GJ, Amsterdam EA et al. Exercise standarts for testing and training. A statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation.* 2001; 104: 1694–1740.
6. Washington RL, Bricker JT, Alpert BS et al. Guidelines for exercise testing in the pediatric age group. From the Committee on atherosclerosis and hypertension in children, council on cardiovascular disease in the young, the American Heart Association. *Circulation.* 1994; 90: 2166–2179.
7. Шарыкин А.С., Колесникова М.А., Шилыковская Е.В., Володина Н.И. Динамика эхокардиографических показателей при дозированной физической нагрузке у детей-спортсменов. *Матер. III Всерос. нац. конгресс лучевых диагностов и терапевтов.* М., 2009: 480–481.
8. Кассирский Г.И., Зотова Л.М., Татаринова Т.Н. Функция кардиореспираторной системы у здоровых детей в покое и при велоэргометрической нагрузке. *Педиатрия.* 1990; 8: 62–65.
9. Кассирский Г.И., Зотова Л.М. Реабилитация больных после хирургического лечения врожденных пороков сердца. М.: НИЦСХ им. А.Н. Бакулева РАМН, 2007.
10. Eriksson BO, Grimby G, Saltin B. Cardiac output and arterial blood gases during exercise in pubertal boys. *J. Appl. Physiol.* 1971; 31: 348–352.
11. Sonnenblick EH, Ross JJ, Braunwald E. Oxygen consumption of the heart: Newer concepts of its multifactorial determination. *Am. J. Cardiol.* 1968; 22: 328–336.
12. Mitchell JH, Hefner LL, Monroe RG. Performance of the left ventricle. *Am. J. Med.* 1972; 53: 481–494.
13. Paridon SM, Alpert BS, Boas SR et al. Clinical stress testing in the pediatric age group. A statement from the American Heart Association Council on Cardiovascular Disease in the Young, Committee on Atherosclerosis, Hypertension, and Obesity in Youth. *Circulation.* 2006; 113: 1905–1920.
14. Калинин Л.А., Макаров Л.М., Чупрова С.Н. и др. Диагностические возможности тестов с физической нагрузкой при синдроме удлинённого интервала QT. *Вестн. аритмологии.* 2001; 23: 28–31.
15. Riopel DA, Taylor AB, Hohn AR. Blood pressure, heart rate, pressure-rate product and electrocardiographic changes in healthy children during treadmill exercise. *Am. J. Cardiol.* 1979; 44: 697–704.
16. Белоконь Н.А., Кубергер М.Б. Болезни сердца и сосудов у детей: Руководство для врачей. М.: Медицина, 1987; Т. 1.

РЕФЕРАТЫ

КИНЕТИКА И ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВИРОЛОГИЧЕСКИЙ ОТВЕТ НА АНТИРЕТРОВИРУСНУЮ ТЕРАПИЮ ВО ВРЕМЯ БЕРЕМЕННОСТИ

ВИЧ-инфицированные беременные женщины, у которых не определяется мРНК ВИЧ в плазме в момент родов, имеют минимальный риск вертикальной трансмиссии. Мы последовательно изучали кинетику и определяющие факторы вирусологического ответа на антиретровирусную терапию у 117 беременных. Больные, начавшие лечение во время беременности, имели снижение уровня вируса в 2–2,55 $\log(10)$ после соответственно 4 и 24 недель лечения. Терапевтический лекарственный мониторинг (ТЛМ) ингибиторов протеаз, назначенных в дозах, рекомендованных для небеременных взрослых больных, показал при измерениях в 1, 2 и 3 триместре целевые концентрации препарата у 29%, 35% и 44% пациенток

соответственно, но низкая концентрация препарата не коррелировала с недостаточным вирусологическим ответом. Демографические характеристики, антиретровирусная терапия до беременности, исходный уровень вируса, использование специфических антиретровирусных препаратов не изменяли вирусологический ответ. 95% приверженность к рекомендованному лечению ассоциировалась с отсутствием вируса в крови к моменту родов. В заключение можно сказать, что вирусологический ответ у беременных и небеременных взрослых женщин имеет схожий характер.

Infect. Dis. Obstet. Gynecol. 2009; 29: 621–780.