

Изменение систолической функции левого желудочка у детей-спортсменов в ответ на физическую нагрузку

А.С. Шарыкин, Е.В. Шильковская, М.А. Колесникова, В.И. Павлов, Ю.М. Иванова, Н.Е. Попова

Changes in left ventricular systolic function in athletic children in response to physical exercise

A.S. Sharykin, E.V. Shilykovskaya, M.A. Kolesnikova, V.I. Pavlov, Yu.M. Ivanova, Popova N.E

Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова, Москва; Московский научно-практический центр спортивной медицины

С целью изучения основных анатомических и функциональных реакций сердца у детей-спортсменов при выполнении дозированной физической нагрузки обследованы 20 мальчиков в возрасте $12,2 \pm 2,7$ года. Анализовали ЭКГ, динамику артериального давления в покое и на высоте нагрузки величиной $1,7 \pm 0,2$ Вт на 1 кг массы. Типичными реакциями сердца в ответ на физическую нагрузку среднего уровня являлись: уменьшение конечного систолического размера левого желудочка, повышение фракции выброса, фракции укорочения и систоли-диастолической амплитуды толщины стенки левого желудочка, что приводило к улучшению его опорожнения. Имелась значительная индивидуальная вариабельность конечного диастолического размера левого желудочка в ответ на нагрузку, однако его абсолютная величина сохранялась в пределах $M \pm 2SD$ (95%) для соответствующей площади поверхности тела. Предложенная методика тестирования детей с непрерывной нагрузкой средней интенсивности позволяет с помощью эхокардиографии выявить преимущественно «инотропный» или «объемный» ответ сердца на нагрузку.

Ключевые слова: дети, эхокардиография, левый желудочек, спорт.

Twenty boys aged $12,2 \pm 2,7$ years were examined to study main cardiac anatomic and functional responses in athletic children performing graduated physical exercises. ECG, blood pressure changes, and echocardiographic parameters at rest and at peak exercise ($1,7 \pm 0,2$ W/kg) were analyzed. In the children, the typical cardiac responses to moderate physical exercise were a decrease in left ventricular (LV) end-systolic size and increases in ejection fraction, shortening fraction, and systolic-diastolic amplitude of wall thickness of the left ventricle, which led to its better emptying. There was a considerable individual variability in LV end-diastolic size (EDS) (lower, higher or none changes in LV EDS) in response to exercise; however, its absolute value remained in the range of $M \pm 2SD$ (95%) for the respective body surface area. The magnitude of an increase in LV EDS was determined by that in the rise of venous return to the left cardiac chambers (by pulmonary blood flow) and accompanied by the appropriate elevation in stroke output. The proposed procedure using echocardiography to test children with continuous moderate-intensity exercise can primarily reveal a cardiac inotropic or volume response to exercise.

Key words: echocardiography, left ventricle, children, sports.

Реакции взрослых спортсменов на физическую нагрузку изучены достаточно подробно, существуют четкие критерии для определения уровня их физической работоспособности и состояния сердечно-сосудистой системы, а также выявления различных патологических изменений в работе сердца. В отношении детей данная проблема разработана в меньшей степени, что имеет как

объективные, так и субъективные основания. Например, при нагрузочном тестировании трудно достичь достаточной мотивированности детей для выполнения максимальных нагрузок.

Часто при отборе в спортивные секции учитываются только антропометрические данные, не проводится оценка состояния работы сердца, тренировочные процессы протекают без учета индивидуальных возможностей ребенка, не ведется адекватный контроль нагрузок. К примеру, среди 60 детей-спортсменов, наблюдавшихся нами, многим эхокардиографическое исследование и велоэргометрия проводились впервые, лишь в 2 случаях осуществлялся контроль частоты пульса тренерами во время тренировок. Существуют единичные, в основном зарубежные работы, посвященные использованию эхокардиографии при нагрузочном тестировании у детей. В то же время необходимо иметь критерии, на которые можно опираться при оценке состояния сердечно-сосудистой системы детей и при выработке рекомендаций

© Коллектив авторов, 2010

Ros Vestn Perinatol Pediat 2010; 5:83–89

Адрес для корреспонденции: Шарыкин Александр Сергеевич — д.м.н., проф. Детского клинко-диагностического центра Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова

127473 Москва, ул. Делегатская, д. 9

Шильковская Елена Викторовна — врач того же центра

Колесникова Мария Александровна — к.м.н., врач того же центра

Павлов Владимир Иванович — к.м.н., зав. отделением Московского научно-практического центра спортивной медицины

105120 Москва, ул. Земляной вал, д. 53

Иванова Юлия Михайловна — врач того же центра

по их физической активности. Настоящее исследование предпринято с целью изучить основные анатомические и функциональные реакции сердца у детей-спортсменов при выполнении дозированной физической нагрузки.

ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕТЕЙ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследование включены 20 мальчиков в возрасте от 8 до 15 лет (в среднем $12,2 \pm 2,7$ года), занимающихся различными видами спорта с комбинированной, преимущественно динамической, нагрузкой (игровые виды, плавание, единоборства) не менее 2,5 лет с интенсивностью 4,5–6 ч в неделю. Эхокардиография во время нагрузки являлась частью обследования, связанного с оценкой физической работоспособности детей. На проведение обследования было получено письменное информированное согласие родителей. В пределах месяца перед нагрузочным тестированием всем пациентам было проведено холтеровское мониторирование для исключения нарушений ритма сердца, проводимости или ишемических реакций.

Нагрузка выполнялась на электромеханическом велоэргометре в положении обследуемого лежа по общепринятой методике [1] в модификации авторов, адаптированной к эхокардиографическому исследованию. Предварительно у 10 детей проведена кислородная тарификация нагрузки (на приборе Oxycop Alpha фирмы Jaeger, Германия) мощностью 1,5–2,0 Вт/кг, во время которой выявлено, что, начиная с 3-й минуты, наступает

относительная стабилизация частоты сердечных сокращений и потребления кислорода организмом (см. рисунок). Полученные результаты соответствуют данным литературы о скорости стабилизации этих показателей при постоянной субмаксимальной нагрузке [1]. Таким образом, с 4-й минуты возможна запись эхокардиографических данных, достоверно отражающих выполняемую нагрузку.

Методика нагрузки:

1. В положении лежа ноги пациента фиксировались на педалях велоэргометра; регистрировали исходную ЭКГ в 12 отведениях, измеряли артериальное давление и записывали исходные ЭКГ-данные.

2. Устанавливали величину нагрузки (из расчета 1,5–2 Вт/кг в зависимости от тренированности пациента) и рассчитывали максимально допустимые величины частоты сердечных сокращений и артериального давления (в мм рт.ст.) для данного возраста:

максимальная частота сердечных сокращений = $210 - 0,65 \cdot \text{возраст в годах}$ (Spirio, 1977);

максимальное систолическое артериальное давление = $120 \pm 0,48 \cdot W$, где W — максимальная мощность нагрузки в Вт (модифицированная формула Jones, 1982);

максимальное диастолическое артериальное давление = исходное диастолическое артериальное давление ± 20 .

3. В течение 1 мин выполняли разминку на «холостом» ходу в ритме 60–65 об/мин. Не останавливая велоэргометр, включали нагрузку; в связи с дискретным регулированием нагрузки на приборе ее средняя мощность составила $1,7 \pm 0,2$ Вт/кг.

4. В процессе нагрузки проводили постоянный контроль состояния и самочувствия пациента, мониторинг ЭКГ и измерение артериального давления на 1-й, 3-й и 6-й минутах.

5. Начиная с 4-й минуты производили запись эхокардиограммы. Общее время нагрузки составляло 6–7 мин.

6. В восстановительном периоде контролировали ЭКГ и артериальное давление до их полного возвращения к исходному уровню.

Эхокардиографическое обследование проводили всем пациентам в стандартных проекциях в покое и на высоте физической нагрузки с сохранением параметров изображения в памяти ультразвукового диагностического аппарата Aloka 5500. Далее показатели М- и В-режимов, цветов, импульсного и постоянно-волнового доплера обрабатывались с помощью предустановленных программ. Для изучения систолической функции левого желудочка измеряли его конечный диастолический размер, конечный систолический размер, толщину задней стенки и толщину межжелудочковой перегородки в систолу и диастолу [2]. Дополнительно рассчитывали индекс массы миокарда на 1 м² площади поверхности тела (ММ/BSA), двойное произведение (произведение величины систолического артериального давления на частоту сердечных сокращений /100) — показатель, тесно коррелирующий

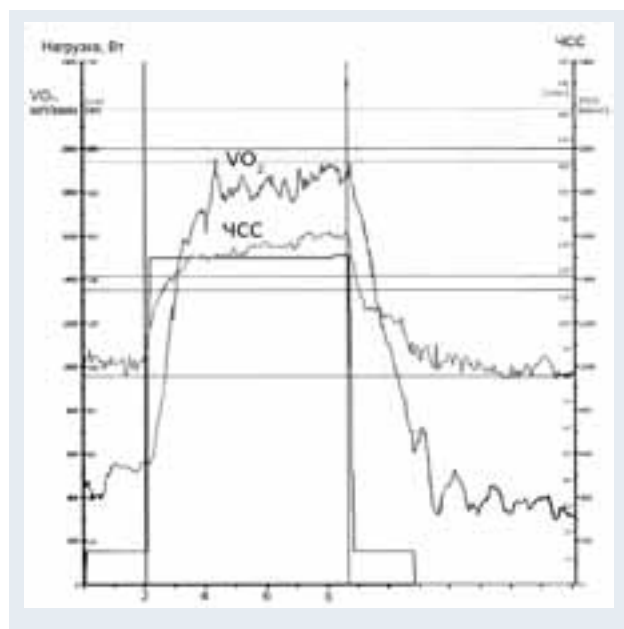


Рисунок. Динамика показателей потребления кислорода (VO_2) и частоты сердечных сокращений (ЧСС) в ответ на нагрузку (эргоспирометрическое исследование).

Отмечена характерна стабилизация показателей после 2-й минуты постоянной нагрузки.

с объемом коронарного кровотока и косвенно отражающий энергетические затраты миокарда [3]. Вычисляли также объемный легочный кровоток (Q_p) [4] и среднее давление в легочной артерии по А. Kitabatake [5]. С помощью аппаратных программ определяли ударный и минутный индексы сердца, фракцию выброса и фракцию укорочения левого желудочка.

Данные представлены в виде средней величины и стандартного отклонения или медианы и интерквартильного интервала (для нормального и ненормального распределения переменных соответственно). Различия показателей оценивали соответственно по t -критерию Стьюдента или U -критерию Манна—Уитни и критерию Вилкоксона. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$. Степень отклонения индивидуальных показателей от средних величин в популяции оценивали по z -фактору (в единицах стандартного отклонения).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средняя мощность нагрузки составила $1,7 \pm 0,2$ Вт/кг, а средняя достигнутая частота сердечных сокращений — 67% от максимальной. Как известно, физическая деятельность на таком уровне соответствует нагрузке среднего уровня [6, 7]. Выбранная мощность и длительность нагрузки хорошо переносились всеми детьми; ни в одном случае тестирование не было прекращено из-за отказа пациента, изменений на ЭКГ или неадекватной реакции артериального давления. Во всех случаях акустическое окно во время нагрузки было адекватным поставленным задачам, лишь у 2 детей потребовалось пролонгировать нагрузку на 1,5 мин для полноценной записи всех проэкций сердца.

Исходная частота сердечных сокращений ($72 \pm 6,8$ в минуту) существенно не отличалась от средней, установленной для популяции детей такого же возраста (68—77, 25—50-й перцентиль [8]). При нагрузке она составила 63—79% от максимальной расчетной величины (67% в среднем). Достигнутая частота сердечных сокращений не затрудняла проведение необходимых эхокардиографических измерений. Не зарегистрировано изменений на ЭКГ, свидетельствующих о появлении ишемии миокарда, нарушений проводимости или ритма сердца.

Типичной реакцией на нагрузку было достоверное увеличение систолического (с $106,3 \pm 2,5$ до $152,6 \pm 3,1$ мм рт.ст.) и диастолического (с $68,0 \pm 1,4$ до $87 \pm 3,0$ мм рт.ст.) артериального давления у всех испытуемых. Пульсовое давление повысилось с $38 \pm 7,5$ до $65,6 \pm 13,7$ мм рт.ст. Ни в одном случае мы не отметили снижения давления при выполнении нагрузки, несмотря на достоверное уменьшение общего периферического сопротивления (с $1383,9 \pm 302$ до 826 ± 170 дин $\cdot$ см $\cdot$ с $^{-5}$; $p < 0,05$). Двойное произведение возрастало в среднем в 2,7 раз по сравнению с исходной величиной (с $76,5 \pm 8,5$ до $212,8 \pm 32,1$, $p < 0,05$).

Кровообращение в малом круге у всех испытуемых характеризовалось уменьшением сосудистого сопротивления, о чем свидетельствовало увеличение легочного кровотока (с $3,5 \pm 0,9$ до $6,9 \pm 1,9$ л/мин; $p < 0,05$) при снижении среднего давления в легочной артерии (с $15,2 \pm 5,2$ до $12,0 \pm 4,5$ мм рт.ст.; $p < 0,05$).

Фракция выброса левого желудочка в покое составляла $0,69 \pm 0,06$, а фракция укорочения $0,39 \pm 0,06$. При нагрузке отмечено существенное возрастание этих показателей ($0,79 \pm 0,06$ и $0,49 \pm 0,07$ соответственно; $p < 0,05$). Ударный и сердечный индексы покоя существенно не отличались от нормальной величины для данного возраста. После нагрузки средняя величина ударного индекса повышалась недостоверно (с $43,8 \pm 12,8$ до $54,2 \pm 17,2$ мл/м 2 ; $p > 0,05$), однако сердечный индекс возрастал более существенно (с $3,1 \pm 1,0$ до $7,2 \pm 2,2$ л/мин $\cdot$ м 2 ; $p < 0,05$).

В покое диастолические и систолические размеры полостей сердца, толщина задней стенки левого желудочка и межжелудочковой перегородки в систолу и диастолу, индекс массы миокарда находились в пределах нормальных величин для данной площади поверхности тела, z -фактор для них колебался от $-1,38$ до $0,49$ (18—93-й перцентиль [9, 10]).

При нагрузке во всех случаях отмечено характерное уменьшение конечного систолического размера левого желудочка (с $27,9 \pm 3,4$ до $24,2 \pm 4,8$ мм; $p < 0,05$). Толщина задней стенки левого желудочка в диастолу понизилась (с $7,7 \pm 1,5$ до $6,5 \pm 1,4$ мм; $p < 0,05$); в то же время ее средняя величина в систолу возросла (с $12,5 \pm 2,0$ до $13,7 \pm 2,0$ мм; $p < 0,05$). Это привело к увеличению амплитуды систоло-диастолических колебаний стенки левого желудочка с $4,8 \pm 1,2$ до $7,2 \pm 1,3$ мм ($p < 0,05$). Лишь в 3 наблюдениях z -фактор толщины задней стенки левого желудочка составил более 1,86, во всех остальных он был в нормальных пределах (от $-1,0$ до 1,19). Динамика толщины межжелудочковой перегородки была несущественной ($p > 0,05$).

При анализе средней величины конечного диастолического размера левого желудочка в ответ на нагрузку была установлена значительная индивидуальная вариабельность этого параметра, в связи с чем дети были разделены на две группы: в 1-ю группу вошли 10 пациентов, у которых данный параметр на высоте нагрузки не изменялся или несколько уменьшался, во 2-ю группу — 10 пациентов, у которых после нагрузки выявлено увеличение этого параметра не менее чем на 2 мм. При этом в обеих группах абсолютная величина конечного диастолического размера левого желудочка оставалась в пределах нормальных величин для данной площади поверхности тела (z -фактор = $-0,79$ —1,42). Последующий анализ проведен для этих двух групп (табл. 1).

По возрасту, площади поверхности тела, длительности занятий спортом, представительству разных видов спорта, мощности выполненной нагрузки, индексу массы миокарда, частоте пульса и ударному индексу покоя различий между группами не выявлено. Длительность за-

нятий спортом или вид спорта не коррелировали с какими-либо эхокардиографическими параметрами. Также не было разницы между исходным и конечным уровнем артериального давления, величиной двойного произведения, величиной сердечного индекса. Расхождения, возникавшие после нагрузки, касались частоты сердечных сокращений, ударного выброса левого желудочка и легочного кровотока (см. табл. 1).

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты требуют анализа в двух аспектах: 1) являются ли величины конечного диастолического размера левого желудочка и варианты его динамики физиологическими или патологическими? 2) как полученные данные характеризуют насосную функцию сердца?

Изучение анатомических и функциональных характеристик сердца у детей, особенно занимающихся спортом, является сложной задачей. В растущем организме размеры всех органов, в том числе сердца, подвержены быстрым изменениям, и вопросы стандартизации край-

не сложны. Так как рост и масса тела могут значительно колебаться у детей одного и того же возраста, более оправдано сопоставление параметров сердца не с возрастом, а с индексом, отражающим физическое развитие детей, т.е. с площадью поверхности тела. Важность этого вопроса подтверждена и в нашем исследовании, в котором возраст детей составил $12,2 \pm 2,7$ года, а средняя площадь поверхности тела $1,46 \pm 0,27$ м². Как выявлено нами, высокая корреляция между возрастом, с одной стороны, и конечным диастолическим размером левого желудочка, ударным объемом, минутным объемом сердца, массой миокарда — с другой ($r=0,61-0,79$; $p<0,05$), исчезала при расчете этих параметров на 1 м² площади поверхности тела. В связи с этим при дальнейшем анализе в качестве нормальных границ линейных размеров сердца ($M \pm 2SD$) нами использованы данные С. Kampmann и соавт. [9], охватывающие диапазон площади поверхности тела от 0,25 до 2,0 м².

В доступной литературе мы нашли немногочисленные эхокардиографические данные для детей, не занимающихся спортом, в возрасте $10,5 \pm 0,4$ года [11] и 14—18 лет

Таблица 1. Эхокардиографические характеристики групп (медиана и интерквартильный интервал) с различной реакцией конечного диастолического размера левого желудочка на нагрузку

Параметр	1-я группа	2-я группа
ЧСС в минуту:		
исходная	76 (70—76)	70 (65—74)
после нагрузки	139 (135—165)*	132 (127—136)*, **
КДР ЛЖ, мм:		
исходный	46,5 (42,0—48,0)	45,5 (42,5—50,0)
после нагрузки	45,5 (42,0—47,0)	51,0 (47,0—54,0)*, **
КСР ЛЖ, мм:		
исходный	30,0 (24,0—30,0)	28,4 (25,5—30,5)
после нагрузки	21,0 (18,0—28,0)*	25,5 (23,0—29,5)*
УИ, мл/м ² :		
исходный	48,1 (46,7—51,8)	46,6 (41,8—48,9)
после нагрузки	52,4 (50,5—57,9)	63,6 (56,7—68,7)*, **
СИ, л/мин • м ² :		
исходный	3,0 (2,7—3,9)	3,2 (2,9—3,7)
после нагрузки	7,2 (6,4—7,9)*	7,8 (6,8—8,5)*
ДЛА, мм рт.ст.:		
исходное	13 (11—18)	17 (11—21)
после нагрузки	11 (9—18)	9,5 (8—14)*
Q _р , л/мин:		
исходный	3,1 (2,5—3,5)	3,4 (3,2—4,0)
после нагрузки	6,9 (4,0—7,4)*	8,2 (5,8—9,3)*, **
ММ/BSA, г	73,4 (71,2—89,4)	75,0 (61,9—77,0)

Примечание. ЧСС — частота сердечных сокращений; КДР — конечный диастолический размер; КСР — конечный систолический размер; BSA — площадь поверхности тела; УИ — ударный индекс; СИ — сердечный индекс; ДЛА — среднее давление в легочной артерии; Q_р — объемный легочный кровоток; ЛЖ — левый желудочек; ММ — масса миокарда; * — $p<0,05$ по сравнению с исходным уровнем; ** — $p<0,05$ между группами.

[12]. В этих работах площадь поверхности тела колебалась от $1,22 \pm 0,12$ до $1,71 \pm 0,4$ м². Однако средние показатели конечного диастолического размера левого желудочка в покое (от 43 ± 3 до $47,9 \pm 3,5$ мм) существенно не отличались от полученных нами. Аналогичные данные приводят Т. Rowland и соавт., обследовавшие 12-летних детей-велосипедистов до и после 4-километровой гонки [13]. Единственной обнаруженной ими особенностью было уменьшение конечного диастолического размера левого желудочка после тяжелой нагрузки (с $45,7 \pm 3,6$ до $44,2 \pm 4,0$ мм; $p < 0,05$) в связи с дегидратацией спортсменов.

Согласно общепринятому мнению, систематические тренировки сопровождаются дилатацией камер сердца и гипертрофией стенки левого желудочка, при этом дилатация является более ранней реакцией [14, 15]. Однако границы допустимого расширения желудочков точно не определены. Как правило, авторы вычисляют собственные контрольные параметры на группах людей, ведущих «сидячий» образ жизни. Так, в работе J. Makin и соавт. [12] сообщается, что размеры полости левого желудочка у 13% обследованных молодых атлетов превышали соответствующие размеры в контрольной группе. Однако, как следует из статьи, эти спортсмены были крупнее по физическим параметрам, и при сопоставлении с нормами С. Kampmann размеры сердца у большинства из них все же оказываются менее $M \pm 2SD$. Таким образом, анализ перечисленных выше работ, как и наше исследование, показывает, что конечный диастолический размер левого желудочка у детей-спортсменов редко превышает 95-й процентиль для соответствующей площади поверхности тела, в том числе и после нагрузки. Можно предположить, что данная величина является максимальной границей для физиологического спортивного ремоделирования сердца. Мы считаем, что чрезмерная дилатация желудочка (превышающая этот лимит) в ответ на нагрузку средней величины должна рассматриваться как предшественница патологического ремоделирования.

Представляет интерес сопоставление размеров сердца и его насосной функции. Как известно, основной реакцией сердца на физическую нагрузку является увеличение минутного объема крови, выбрасываемого с целью обеспечить работающие мышцы кислородом. В классических работах 60—70-х годов прошлого века, обобщенных в монографиях [16, 17], было показано, что реакция сердца на физические упражнения представляет собой сложное явление, включающее изменение частоты сердечных сокращений, нейрогуморальной регуляции сердца и конечного диастолического объема желудочков. Клинически наиболее заметным событием является тахикардия вследствие снятия вагусного торможения и симпатической стимуляции синоатриального узла. Это способствует улучшению сократительного состояния миокарда — скорость укорочения волокон и сила сокращения желудочка значительно возрастают. Но при этом длина исследуемого сегмента миокарда и ударный объем желудочка сохраняются отно-

сительно постоянными. Симпатическая стимуляция миокарда (β -адренорецепторов) действует в том же направлении, приводя к увеличению сократимости миокарда, уменьшению диастолического и конечного систолического размеров левого желудочка. В нашем исследовании при нагрузке отмечено значительное возрастание фракции выброса, фракции укорочения и систолодиастолической амплитуды толщины стенки левого желудочка, что подтверждает усиление инотропизма в обеих группах. Тем не менее динамика объема сердца и ударного выброса была различной. Как было показано ранее, в положении лежа ударный объем сердца меняется не более чем на 10—20% [17]. В нашей серии наблюдений его изменения составили в среднем также около 18%. Однако при раздельном анализе групп выявлена значительная разница: в 1-й группе прирост ударного индекса составил лишь 9%, а во 2-й — 36,5%. Данные изменения могут быть объяснены разной степенью участия механизма Франка—Старлинга.

Закон Франка—Старлинга реализуется при повышении сердечного выброса сложным путем. Фактически, при любой данной частоте сердечных сокращений конечный диастолический и систолический размер желудочка и ударный объем при нагрузке всегда больше, чем в состоянии покоя [18]. Однако тахикардия и симпатическая стимуляция, повышая степень опорожнения желудочка, не позволяют значительно возрасти его диастолическому размеру. Только если экспериментально поддерживается стабильная частота сердечных сокращений (с помощью парной стимуляции) или медикаментозно блокируются β -адренорецепторы, ударный выброс и конечный диастолический размер желудочка в ответ на физические упражнения увеличиваются. Таким образом, механизм Франка—Старлинга участвует в увеличении сердечного выброса «скрытым» образом, в значительной мере завися от указанных выше факторов.

В наших наблюдениях итоговый сердечный выброс в обеих группах достигался двумя основными путями: увеличением частоты сердечных сокращений и увеличением ударного выброса левого желудочка. Последний показатель, однако, возрастал двумя разными способами: в 1-й группе на фоне относительно стабильного конечного диастолического размера левого желудочка уменьшался конечный систолический размер, что приводило к более полному опорожнению желудочка; во 2-й группе при аналогичной динамике конечного систолического размера левого желудочка дополнительно увеличивался конечный диастолический размер. Таким образом, если в 1-й группе при увеличении минутного выброса сердца ведущим фактором было нарастание частоты сердечных сокращений ($p < 0,05$), то у детей 2-й группы в большей степени использовался фактор преднагрузки, что подтверждается регистрацией значительно большего прироста легочного кровотока в процессе тестирования (см. табл. 1). Ранее было показано, что при упражнениях умеренной интенсивности открываются капилляры в верхушках легких, что приводит к более равномерному

наполнению сосудистого ложа и снижению давления в легочной артерии [17]. Именно такая реакция зарегистрирована в нашем исследовании, и она была максимально выражена во 2-й группе.

Различная динамика объема левого желудочка в ответ на нагрузку впервые была описана для взрослых с умеренно выраженными пороками сердца [19]. Наше исследование является первым сообщением о таком явлении у здоровых детей.

Работ, посвященных изучению ударного выброса у детей, проведено сравнительно немного, при этом анализировались как данные катетеризации сердца, так и эхокардиографические измерения при различном положении испытуемых. Полученные результаты характеризуются значительным разбросом величины ударного индекса как в покое, так и при нагрузке (табл. 2). Это свидетельствует, что в исследования могли быть включены дети с различным инотропным и объемным ответом левого желудочка на нагрузку. Таким образом, стандартизация исследований, понятия нормального ударного выброса и его нормальной реакции на нагрузку все еще остаются актуальными.

Незначительный прирост ударного индекса в наших исследованиях в 1-й группе можно было бы объяснить более значительным укорочением диастолы из-за тахикардии. Однако в исследовании W. Gleason и соавт. [26] было убедительно показано, что ударный объем желудочка коррелирует с его конечным диастолическим объемом, а не с продолжительностью диастолы или сердечного цикла в целом. Только увеличение притока крови к желудочку способствует увеличению его конечного диастолического объема и соответственно ударного выброса. Роль венозного возврата показана и в более поздней работе T. Rowland и соавт. [25]. Авторы выявили, что во время прогрессирующей нагрузки периферическая «мышечная помпа» повышает венозный возврат к сердцу, а именно к левому предсердию, в результате чего растет диастолический градиент давления между предсердием и левым желудочком. Кроме того, снижение конечно-

го систолического размера левого желудочка приводит к возрастанию эластической отдачи и всасывающего эффекта левого желудочка, ускоряющего опорожнение левого предсердия. Данные механизмы обеспечивают рост объемного кровотока через митральный клапан (другими словами — будущего ударного объема), несмотря на снижение времени диастолического наполнения желудочка. Характерно, что прирост кровотока определяется в среднем до нагрузки 1,66 Вт/кг, а затем прекращается. Эти данные поддерживают наш выбор тестовой нагрузки, не превышающей 2,0 Вт/кг. Роль преднагрузки в увеличении ударного выброса подтверждается и зарегистрированным нами значительным приростом легочного кровотока (см. табл. 1, группа 2-я).

Так как фракции выброса и укорочения в исследуемых группах не различались ни в покое, ни на высоте нагрузки, можно предположить, что итоговая сократимость миокарда желудочка была примерно одинакова. Однако в 1-й группе она достигалась при большей тахикардии и это «гасило» прирост конечного диастолического размера левого желудочка, а во 2-й группе механизм Франка—Старлинга включался более явным образом. Основываясь на равных величинах двойного продукта в группах, можно заключить, что метаболические потребности сердца были примерно одинаковыми, т.е. преимуществ того или иного пути для повышения сердечного выброса в настоящем исследовании не выявлено. Возможно, что систематическое возрастание диастолического объема желудочка при нагрузке предшествует тому расширению, которое регистрируют у части спортсменов в покое. Однако для подтверждения патологического характера этого явления необходимы дальнейшие исследования.

Таким образом, у здоровых тренированных детей имеется определенный баланс между тремя основными силами (частота сердечных сокращений, контрактильность, степень диастолического наполнения желудочка), регулирующими реакцию сердца на нагрузку. Вопрос о том, какой из путей «лучше», экономичней и т.д., ну-

Таблица 2. Величины ударного индекса (УИ) у детей в покое и при нагрузке

Возраст детей	Положение испытуемых	УИ, мл/м ²		Источник литературы
		в покое	при нагрузке	
13—14 лет	Сидя	61,8±6,2	86,8±3,9	[20]
11—13 лет	»	49,4	66,9	[21]
5—16 лет	Лежа	51,9±5,9	55,7±12,7	[22]
5—16 лет	»	52,7±2,0	57±2,3	[23]
12,2 года	Сидя	—	65±6,0	[13]
10—15 лет	»	41±9	49±10	[24]
12,0±1,3 года	»	37,7±6,5	52,2±8,7	[25]
10,5±0,4 года	»	—	52,1±6,1	[11]
13 лет	Лежа	48,1	52,4	Собственные данные, 1-я группа
12 лет	»	46,6	63,6	Собственные данные, 2-я группа

ждается в дальнейшем изучении. Возможно, ответ кроется в изучении диастолических свойств желудочков у детей с различной степенью физической тренированности, плотности адренергических рецепторов в миокарде и т.п.

ВЫВОДЫ

1. К типичным реакциям сердца у детей в ответ на физическую нагрузку среднего уровня относится уменьшение конечного систолического размера левого желудочка, повышение фракции выброса, фракции укорочения и систолодиастолической амплитуды колебаний толщины стенки, что приводит к улучшению опорожнения левого желудочка.

2. Динамика конечного диастолического размера левого желудочка в детском возрасте не связана с дли-

тельностью занятий спортом или его видом. Возможно уменьшение, увеличение или отсутствие изменений конечного диастолического размера в ответ на нагрузку, однако его абсолютная величина сохраняется в пределах $M \pm 2SD$ (95-й процентиль) для соответствующей площади поверхности тела.

3. Степень увеличения конечного диастолического размера левого желудочка определяется степенью увеличения венозного возврата к левым отделам сердца (легочным кровотоком) и сопровождается соответствующим повышением ударного выброса сердца.

4. Предложенная методика тестирования детей с физической нагрузкой средней интенсивности позволяет с помощью эхокардиографии выявить преимущественно «инотропный» или «объемный» ответ сердца на нагрузку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Washington R.L., Bricker J.T., Alpert B.S. 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. Vol. 90. P. 2166—2179.
2. Белозеров Ю.М., Потылицко Г.Н., Болбинов В.В., Гусаев С.Ф. Ультразвуковая семиотика и диагностика в кардиологии детского возраста. М.: Мед. компьютерные системы, 2001.
3. Riopel D.A., Taylor A.B., Hohn A.R. Blood pressure, heart rate, pressure-rate product and electrocardiographic changes in healthy children during treadmill exercise // *Am. J. Cardiol*. 1979. Vol. 44. P. 697—704.
4. Иваницкий А.В., Константинова В.М., Косенко А.И., Горбачевский С.В. Оценка показателей гемодинамики у больных с врожденными пороками сердца и легочной гипертензией с помощью доплерэхокардиографии / Пособие для врачей. М.: Издательство НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН, 2001. 23 с.
5. Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике / Под ред. В.В. Митькова, В.А. Сандрикова. Т. 5. М.: Видар, 1998. 360 с.
6. Haskell W.L., Lee I-M., Pate R.R. et al. Physical activity and public health. Updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association // *Circulation*. 2007. Vol. 116. P. 1081—1093.
7. Кассирский Г.И., Зотова Л.М. Реабилитация больных после хирургического лечения врожденных пороков сердца. М.: НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН, 2007. 136 с.
8. Макаров Л.М. ЭКГ в педиатрии. 2-е издание. М.: «Мед-практика-М», 2006, 544 с.
9. Kampmann C., Wiethoff C.M., Wenzel A. et al. Normal values of M mode echocardiographic measurements of more than 2000 healthy infants and children in central Europe // *Heart*. 2000. Vol. 83. P. 667—672.
10. Pettersen M.D., Du W., Skeens M.E., Humes R.A. Regression equations for calculation of z-scores of cardiac structures in a large cohort of healthy infants, children, and adolescents: an echocardiographic study // *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2008. Vol. 2. P. 922—934.
11. Vinet A., Mandigout S., Nottin S. et al. Influence of body composition, hemoglobin concentration, and cardiac size and function of gender differences in maximal oxygen uptake in prepubertal children // *Chest*. 2003. Vol. 124. P. 1494—1499.
12. Makan J., Sharma S, Firoozi S et al. Physiological upper limits of ventricular cavity size in highly trained adolescent athletes // *Heart*. 2005. Vol. 91. P. 495—499.
13. Rowland T., Goff D., DeLuca P., Popowski B. Cardiac effects of a competitive road race in trained child runners // *Pediatrics*. 1997. Vol. 100. P. e2.
14. Plim B., Zwiderman A.H., Van der Laarse A., Van der Wall E.E. The athlete's heart. A meta-analysis of cardiac structure and function // *Circulation*. 1999. Vol. 100. P. 336—344.
15. Pavlik G., Olexo Z., Osvath P., Frenkl R. Echocardiographic characteristics of male athletes of different age // *Br. J. Sports Med*. 2001. Vol. 35. P. 95—99.
16. Браунвальд Е., Росс Дж., Зонненблик У.Х. Механизмы сокращения сердца в норме и при недостаточности. М.: Медицина, 1974. 175 с.
17. Маршалл Р.Д., Шеферд Д.Т. Функция сердца у здоровых и больных. М.: Медицина, 1972. 391 с.
18. Sonnenblik E.H., Braunwald E., Williams J.F.J. et al. Effects of exercise on myocardial force — velocity relations in intact unanesthetized man: relative roles of changes in heart rate, sympathetic activity, and ventricular dimensions // *J. Clin. Invest*. 1965. Vol. 44. P. 2051—2062.
19. Gorlin R., Cohen L.S., Elliott W.C. et al. Effect of supine exercise on left ventricular volume and oxygen consumption in man // *Circulation*. 1965. Vol. 32. P. 361—371.
20. Eriksson B.O., Grimby G, Saltin B. Cardiac output and arterial blood gases during exercise in pubertal boys // *J. Appl. Physiol*. 1971. Vol. 31. P. 348—352.
21. Eriksson B.O., Koch G. Cardiac output and intra-arterial blood pressure at rest and during submaximal and maximal exercise in 11—13 year old boys before and after physical training. In: O. Bar-Or, ed. *Pediatric Work Physiology*. Natanya, Israel: Wingate Institute, 1973. P. 139—150.
22. Cumming G.R. Hemodynamics of supine bicycle exercise in normal children // *Am. Heart J*. 1977. Vol. 93. P. 617—622.
23. Lock J.E., Einzig S., Moller J.H. Hemodynamic responses to exercise in normal children // *Am. J. Cardiol*. 1978. Vol. 41. P. 1278—1284.
24. Rosenthal M., Bush A. Haemodynamics in children during rest and exercise: methods and normal values // *Eur. Respir. J*. 1998. Vol. 11. P. 854—865.
25. Rowland T., Mannie E., Gawle L. Dynamics of left ventricular diastolic filling during exercise. A Doppler echocardiographic study of boys 10 to 14 years old // *Chest*. 2001. Vol. 120. P. 145—150.
26. Gleason W.L., Braunwald E. Studies on Starling's Law of the Heart. VI. Relationships between Left Ventricular End-Diastolic Volume and Stroke Volume in Man with Observations on the Mechanism of Pulsus Alternans // *Circulation*. 1962. Vol. 25. P. 841—848.

Поступила 21.01.10