

УДК [616.12-07]-053

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ ДЕТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАРВАРДСКОГО СТЕП-ТЕСТА (ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

Корниенко Е.М., Александров Д.А.

Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск, Республика Беларусь

Реферат. Уровень функциональных резервов организма в значительной степени определяется путем оценки степени толерантности к выполнению физических нагрузок. Однако сегодня систематизированных данных об изменении показателей кардиореспираторной системы при выполнении дозированной физической нагрузки нетренированных детей различного возраста в белорусской популяции в научной литературе нет, актуален вопрос характеристики функциональных резервов кардиореспираторной системы в различные возрастные периоды. Цель исследования: дать характеристику функциональных показателей кардиореспираторной системы детей различного возраста по результатам выполнения контролируемой дозированной физической нагрузки в виде Гарвардского степ-теста. В исследовании приняли участие 18 детей без нарушений функций кровообращения в возрасте от 4,9 до 17,9 лет. После письменного информированного согласия законных представителей детей было проведено функциональное нагрузочное тестирование в виде модифицированного для детей Гарвардского степ-теста (МГСТ). Установлено, что применение функциональной пробы с дозированной физической нагрузкой в виде МГСТ создает значительное возмущающее воздействие на кардиореспираторную систему детей, позволяющее охарактеризовать степень их толерантности к выполнению физической нагрузки для более точной и объективной оценки адаптационных резервов организма детей в различные возрастные периоды. Наличие маятникообразных изменений исследуемых гемодинамических показателей кардиореспираторной системы (ЧСС, САД, ДАД) во время 5-минутного периода восстановления после МГСТ со снижением у некоторых исследуемых детей вышеуказанных параметров ниже уровня контрольных значений может указывать на процессы нарушения нервно-гуморальной регуляции и дезадаптации кардиореспираторной системы у детей без нарушений функций кровообращения. Данный вопрос нуждается в дополнительном изучении.

Ключевые слова: дети; кардиореспираторная система; функциональное исследование; Гарвардский степ-тест.

Введение. В значительной степени уровень функциональных резервов организма определяется степенью его двигательной активности и толерантностью к выполнению физических нагрузок. Общепринята оценка функциональных резервов организма по результатам исследования функциональных резервов кардиореспираторной системы: известно, что функциональные показатели лиц, имеющих регулярную физическую нагрузку, выше, чем у лиц, не имеющих ее [1]. На функционирование кардиореспираторной системы могут влиять анатомо-физиологические особенности растущего организма, врожденные и приобретенные структурные изменения в органах и тканях, наличие острых и/или хронических заболеваний, неблагоприятное воздействие факторов окружающей среды и др. [2; 3].

На данный момент в литературе обнаружены лишь единичные исследования, описывающие функциональное состояние данной системы у нетренированных детей различного, особенно дошкольного, возраста. В публикациях используются различные подходы к оценке функционального состояния кардиореспира-

торной системы детей в покое, каждое исследование проводится в рамках, как правило, лишь одного возрастного периода, причем различные авторы выбирают разные возрастные периоды, что не позволяет систематизировать результаты исследований для оценки функциональных резервов кардиореспираторной системы детского организма различного возраста [4].

Таким образом, представляется актуальным вопрос характеристики функциональных резервов кардиореспираторной системы в различные возрастные периоды с учетом выполнения контролируемой дозированной физической нагрузки.

Цель исследования: дать характеристику функциональных показателей кардиореспираторной системы детей различного возраста по результатам выполнения контролируемой дозированной физической нагрузки в виде Гарвардского степ-теста.

Материалы и методы. В пилотном исследовании приняло участие 18 (100,0 %, 95ДИ: 82,4–100,0) детей без нарушений функций кровообращения, жителей города, среди которых преобладали мальчики (61,1 %, 95ДИ: 38,6–79,7).

Возрастной диапазон детей составил от 4,9 лет до 17,9 лет ($Me = 9,38$ лет, $Q_1 = 6,6$ лет, $Q_3 = 12,0$ лет).

Исследование было одобрено комитетом по биомедицинской этике учреждения образования «Белорусский государственный медицинский университет» и выполнялось после письменного информированного согласия законных представителей детей. При проведении функционального исследования кардиореспираторной системы применялась функциональная проба с контролируемой дозированной физической нагрузкой в виде модифицированного Гарвардского степ-тест для детей (МГСТ), представляющего собой 3-минутный одноступенчатый степ-тест с фиксированной высотой ступени 20 см вне зависимости от массы тела и роста детей, их возраста и пола [5]. Выполнение нагрузки проводилось после 20-минутного периода покоя, подъем на ступень выполнялся в темпе 1 подъем за 2 секунды под ритм метронома. После окончания выполнения физической нагрузки отдых проходил в положении «сидя». Для анализа функционирования кардиореспираторной системы оценивались величины частоты пульса (ЧСС), систолического и диастолического артериального давления (САД и ДАД), частоты дыхания (ЧД) и степени насыщения крови кислородом (SpO_2), измеренные непосредственно перед проведением степ-теста и после его завершения, а также на протяжении 5-минутного периода восстановления (ПВ) после окончания МГСТ (по окончании 1-й и 5-й минут ПВ). Для оценки динамики перестройки систем регуляции кардиореспираторной системы у детей в ходе проведения МГСТ ежеминутно регистрировались показатели ЧСС, ЧД и SpO_2 . Измерение САД и ДАД проводилось по общепринятой методике с использованием электронного тонометра Microlife BP B2 Standard (Microlife AG, Switzerland). Регистрация пока-

зателей ЧСС и SpO_2 проводилась с использованием оксиметра пульсового переносного «Пульсар-М2» (далее – пульсоксиметр «Пульсар-М2») (ООО «Белинтелмед», Республика Беларусь), апноэ-монитор с возможностью длительной (вплоть до 24 часов) записи фотоплетизмограммы, спирограммы, индикации положения тела с сохранением данных во встроенной памяти прибора. Определение ЧД проводилось по результатам оценки спирограммы, полученной при измерении объема назальных потоков во время выполнения МГСТ и периода восстановления с использованием пульсоксиметра «Пульсар-М2».

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием стандартного пакета статистического и математического анализа программного приложения Microsoft Excel, web-приложения VassarStats [6]. Применялись следующие методы описательной статистики: медиана (Me), интервал между нижним и верхним квартилями (Q_1 ; Q_3), при необходимости максимальные (max) и минимальные (min) значения, абсолютное число ($abs.$), относительная величина в процентах (P), %, 95 % доверительный интервал (95ДИ) по методу Уилсона. Статистические различия между исследуемыми группами учитывались при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты. По результатам анализа динамики показателей кардиореспираторной системы установлено, что у исследуемых детей при выполнении функциональной пробы в виде МГСТ наблюдался выраженный рост величины значений ЧСС, САД, ДАД и снижение SpO_2 во всех возрастных группах, динамика изменения показателей САД, ДАД и ЧСС после МГСТ во время ПВ характеризовалась постепенным снижением величин исследуемых показателей, в большинстве случаев, до уровня контрольных значений (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика исследуемых показателей кардиореспираторной системы во время проведения МГСТ у исследуемых детей без нарушений функций кровообращения ($n = 18$)

Показатель	Контроль			1-я мин. выполнения пробы			2-я мин. выполнения пробы		
	Me	Q_1	Q_3	Me	Q_1	Q_3	Me	Q_1	Q_3
ЧСС	90	83	100	129	122	139	137	127	154
САД	109	99	112	–	–	–	–	–	–
ДАД	69	66	75	–	–	–	–	–	–
ЧД	22	20	24	32	24	36	36	30	41
SpO_2	98	97	99	97	95	98	96	91	97

Окончание табл. 1

Показатель	3-я мин. выполнения пробы			1-я мин. ПВ			5-я мин. ПВ		
	Me	Q ₁	Q ₃	Me	Q ₁	Q ₃	Me	Q ₁	Q ₃
ЧСС	141	127	157	93	81	103	90	84	101
САД	—	—	—	127	120	136	109	104	116
ДАД	—	—	—	76	70	81	69	65	74
ЧД	38	32	45	28	25	32	22	20	24
SpO ₂	96	91	97	98	98	98	98	97	98

При анализе динамики исследуемых показателей ЧСС, ЧД и SpO₂ во время 3-х минут выполнения МГСТ наблюдалось постепенное увеличение ЧСС и ЧД и снижение SpO₂ (рис. 1). Максимальные изменения от уровня контрольных значений наблюдались к моменту завершения теста (к окончанию 3-й минуты выполнения МГСТ) (критерий Фридмана: $p < 0,05$, Критерий Вилкоксона (W-критерий): $p < 0,05$). SpO₂ значительно снижалась уже на 1-й минуте выполнения теста (W-критерий_{контр-1}: $p < 0,05$), причем данное снижение продолжалось и на 2-й минуте (W-критерий₁₋₂: $p < 0,05$), после чего стабилизировалась, сохраняясь без существенной динамики до момента завершения МГСТ (W-критерий₂₋₃: $p > 0,05$).

К моменту окончания МГСТ у исследуемых детей по сравнению с контролем ЧСС возросла на 56,7 %, САД – на 16,5 %, ДАД – на 10,1 %, ЧД – на 72,7 %, в то время как показатель SpO₂ снизился на 2,0 %.

Также следует отметить, что несмотря на длительность нагрузки (3 минуты), уровень ЧСС во время нагрузки не достиг уров-

ня субмаксимальной ЧСС (75 % от максимально допустимой возрастной ЧСС, рассчитанной по методу Карвонена). В среднем уровень достигнутой на 3-й минуте МГСТ максимальной ЧСС составлял $50,53 \pm 21,11$ % (Me = 49,07, Q₁ = 37,23 %, Q₃ = 63,53 %) от уровня максимально допустимой возрастной ЧСС, рассчитанной по методу Карвонена.

Во время 5-минутного периода восстановления после выполнения МГСТ наблюдалось постепенное снижение уровня значений показателей ЧСС, САД, ДАД и ЧД и увеличение уровня значений показателя SpO₂ до уровня исходных значений (рис. 2, табл. 2).

При этом не наблюдалось восстановления всех исследуемых параметров до исходного уровня после выполнения 3-минутного МГСТ ни у одного ребенка (0,0 %, 95ДИ: 0,0–17,6). В большинстве случаев наблюдалось отсутствие восстановления одного или нескольких параметров разной степени выраженности (табл. 3). К окончанию 5-минутного ПВ только уровни САД и SpO₂ вернулись к уровню контрольных значений у всех исследуемых детей.

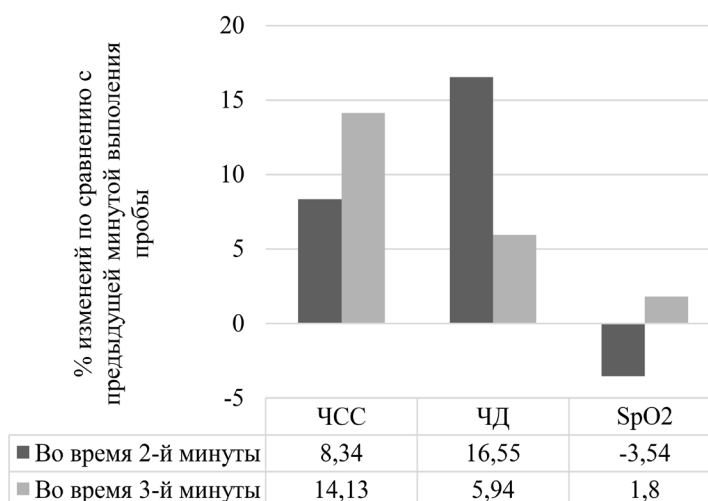


Рис. 1. Динамика изменения уровня показателей ЧСС, ЧД и SpO₂ в течение 3 минут выполнения МГСТ (по сравнению с уровнем значений, полученным по окончанию предыдущей минуты выполнения теста), в % ($n = 18$)

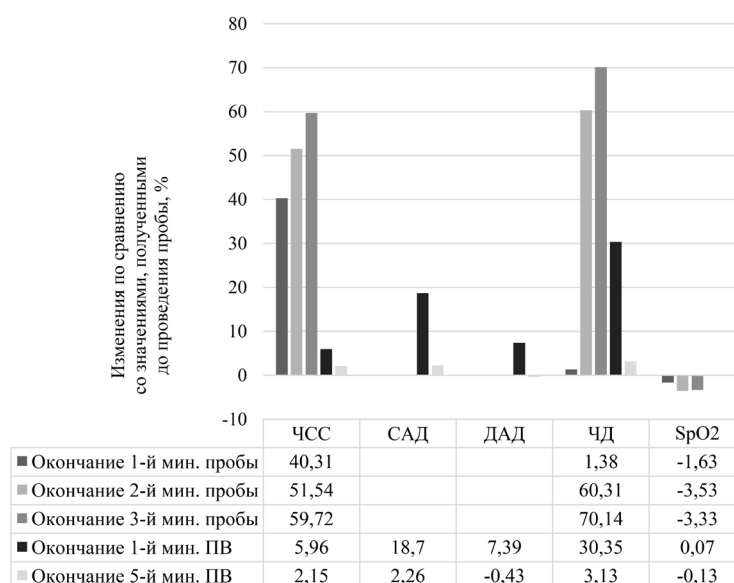


Рис. 2. Динамика изменений исследуемых показателей кардиореспираторной системы во время выполнения МГСТ по сравнению со значениями, полученными до проведения пробы, в %

Таблица 2 – Показатели кардиореспираторной системы у тематических детей без нарушений функций кровообращения при проведении МГСТ, средние значения ($n = 18$)

Этапы	ЧСС (уд/мин) \diamond	САД (мм рт. ст) \diamond	ДАД (мм рт. ст) \diamond	ЧД (вдохов/мин) \diamond	SpO ₂ (%) \diamond
До пробы	90,13	106,07	70,07	21,6	97,87
Окончание 1-й мин пробы	125,53 *	–	–	30,07 *	96,27 *
Окончание 2-й мин пробы	135,4 *#	–	–	34,93 *#	94,4 *#
Окончание 3-й мин пробы	137,13 *#▲	–	–	37,13 *#▲	94,6 *
Окончание 1-й мин ПВ	94,53 #▲●	125,87 *	74,87 *	28,13 *▲●	97,93 #▲●
Окончание 5-й мин ПВ	91,67 #▲●■	108,40 ■	69,6 ■	22,13 #▲●■	97,73 #▲●■

Примечание: * – $p < 0,05$, W-критерий по сравнению с исходными значениями, # – $p < 0,05$, W-критерий по сравнению со значениями, полученными по окончании 1-й минуты выполнения пробы, ▲ – $p < 0,05$, W-критерий по сравнению со значениями, полученными по окончании 2-й минуты выполнения пробы, ● – $p < 0,05$, W-критерий по сравнению со значениями, полученными по окончании 3-й минуты выполнения пробы, ■ – $p < 0,05$, W-критерий по сравнению со значениями, полученными по окончании 1-й минуты ПВ, \diamond – $p < 0,05$, критерий Фридмана.

Таблица 3 – Удельный вес случаев восстановления исследуемых параметров кардиореспираторной системы у тематических детей без нарушений функций кровообращения при выполнении МГСТ ($n = 18$)

Восстановление параметров к окончанию 5-минутного ПВ	абс.	Р, %	95ДИ
ЧСС	15	83,3	60,8–94,2
САД	18	100,0	82,4–100,0
ДАД	16	88,9	67,2–96,9
ЧД	17	94,4	74,2–99,0
SpO ₂	18	100,0	82,4–100,0

В целом у каждого из исследуемых детей основная масса анализируемых показателей к окончанию 5-й мин. ПВ вернулась к исходному уровню, что может указывать на адекватную работу механизмов нейрогуморальной

регуляции функционирования кардиореспираторной системы у вышеназванных детей.

Заключение и выводы. Установлено, что применение функциональной пробы с дозированной физической нагрузкой в виде МГСТ

создает значительное возмущающее воздействие на регуляторные механизмы, обеспечивающие функционирование кардиореспираторной системы у практически здоровых детей в возрасте 4,9–17,9 лет. Анализ динамики показателей функций сердечно-сосудистой и дыхательной систем в процессе выполнения МГСТ и после его завершения позволяет охарактеризовать степень их толерантности к выполнению физической нагрузки, уточнить адаптационные резервы организма детей.

При проведении функциональной пробы в виде 3-минутного МГСТ ($n = 18$) было установлено:

– в среднем достигнутый на 3-й мин. выполнения МГСТ максимальный уровень ЧСС составлял $50,53 \pm 21,11 \%$ ($Me = 49,07$, $Q1 = 37,23 \%$,

$Q3 = 63,53 \%$) от уровня максимально допустимой возрастной ЧСС, рассчитанной по методу Карвонена, что указывает на умеренную тяжесть МГСТ, доступность его выполнения здоровыми детьми;

– к концу 5-й мин. ПВ ни у одного ребенка ($0,0 \%$, $95ДИ: 0,0–17,6$) не произошло восстановления всех показателей, характеризующих функционирование сердечно-сосудистой и дыхательной систем, после выполнения 3-минутного МГСТ. В большинстве случаев наблюдалось отсутствие восстановления одного или нескольких параметров разной степени выраженности. К окончанию 5-минутного ПВ только уровни САД и SpO_2 вернулись к уровню контрольных значений у всех исследуемых детей.

Список цитированных источников

1. Адаптация кардиореспираторной системы спортсменов к двигательной деятельности / Ю.С. Ванюшин, Р.Р. Хайруллин, Д.Е. Елистратов [и др.] // Теория и практика физической культуры. – 2020. – №2. – С. 30–32.
2. Физическое развитие детей с различным уровнем физической активности / С.Р. Трубецкая, О.В. Сазонова, М.Ю. Гаврюшин // Российский педиатрический журнал. – 2024. – Т. 27, № S3. – С. 92.
3. Wołoszyn, F. Comprehensive use of cardiopulmonary exercise testing in pediatrics / F. Wołoszyn, A. Mazur // Pediatric Endocrinology Diabetes and Metabolism. – 2021. – Vol. 27, №1. – P. 42-46.
4. Курзанов, А.Н. Функциональные резервы организма в ракурсе клинической физиологии / А.Н. Курзанов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4. – URL: <https://science-education.ru/article/view?id=20456> (дата обращения: 10.05.2025).
5. Скуратова, Н.А. Значение Гарвардского степ-теста в оценке адаптационных возможностей сердечно-сосудистой системы у детей-спортсменов / Н.А. Скуратова, Л.М. Беляева // Проблемы здоровья и экологии. – 2011. – № 1 (27). – С. 80–86.
6. VassarStats : Website for Statistical Computation, 2020. – Mode of access : <http://vassarstats.net/>. – Date of access : 02.06.2025.

DIFFERENT AGES CHILDREN CARDIORESPIRATORY SYSTEM FUNCTIONAL STUDY BY USING THE HARVARD STEP TEST (PILOT STUDY)

Kornienko E.M., Alexandrov D.A.

Belarussian state medical university, Minsk, Republic of Belarus

The article presents the data on the analysis of the different ages children cardiorespiratory system functional state of according to the results of load testing in the form of the Harvard Step Test for children. It is established that the use of functional test with dosed physical load in the form of the Harvard Step Test creates a significant perturbing effect on the children cardiorespiratory system, allowing to characterize the degree of their tolerance to physical load for a more accurate and objective assessment of adaptive reserves of the organism of children in different age periods.

Keywords: children; cardiorespiratory system; functional study; Harvard Step Test.