

ISSN 2782-3806
ISSN 2782-3814 (Online)
УДК 612.171.7-053.2

ВОЗМОЖНОСТИ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОГО ТЕСТА В ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И ПРОГНОЗА У ПАЦИЕНТОВ ДЕТСКОГО ВОЗРАСТА С ВРОЖДЕННЫМИ ПОРОКАМИ СЕРДЦА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

**Яковлева Е. В., Березина А. В., Коршикова Ю. В.,
Вершинина Т. Л., Первунина Т. М., Демченко Е. А.,
Старшинова А. А., Васичкина Е. С.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

Контактная информация:

Яковлева Елена Владимировна,
ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава
России,
ул. Аккуратова, д. 2, Санкт-Петербург,
Россия, 197341.
E-mail: Yakovleva_EV@almazovcentre.ru

Статья поступила в редакцию 10.05.2024
и принята к печати 28.05.2024.

РЕЗЮМЕ

Врожденные пороки сердца (ВПС) — наиболее частая форма врожденных пороков развития у детей.

Благодаря ранней диагностике, бурному развитию медицинских технологий в кардиохирургии, а также успехам в выживании тяжелых пациентов после хирургической коррекции ВПС, за последние десятилетия значимо увеличилась выживаемость и продолжительность жизни больных с ВПС. Это привело к появлению новой популяции пациентов с тяжелыми ВПС, когда возможно проведение только паллиативного вмешательства либо когда сформировалась уникальная сердечная гемодинамика в силу того, что радикальная коррекция проводилась в несколько этапов и включала большой объем воздействий. Такие люди имеют специфические функциональные возможности, особенную сердечно-легочную работоспособность, а также риск развития серьезных неблагоприятных событий (сердечная недостаточность, жизнеугрожающие нарушения ритма сердца, внезапная сердечная смерть и др.).

В обзоре представлены обобщенные современные представления о возможностях кардиореспираторного теста у детей с различными ВПС.

Ключевые слова: врожденные пороки сердца, дети, кардиореспираторный нагрузочный тест, физическая работоспособность.

Для цитирования: Яковлева Е.В., Березина А.В., Коршикова Ю.В. и др. Возможности кардиореспираторного теста в оценке уровня физической работоспособности и прогноза у пациентов детского возраста с врожденными пороками сердца (обзор литературы). *Российский журнал персонализированной медицины.* 2024;4(3):238-245. DOI: 10.18705/2782-3806-2024-4-3-238-245. EDN: JXCMCX

THE POSSIBILITIES OF THE CARDIORESPIRATORY TEST IN EVALUATION THE LEVEL OF PHYSICAL CAPACITY AND PROGNOSIS IN PEDIATRIC PATIENTS WITH CONGENITAL HEART DISEASES (LITERATURE REVIEW)

Yakovleva E. V., Berezina A. V., Korshikova Yu. V., Vershinina T. L., Pervunina T. M., Demchenko E. A., Starshinova A. A., Vasichkina E. S.

Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author:

Yakovleva Elena V.,
Almazov National Medical Research
Centre,
Akkuratova str., 2, Saint Petersburg,
Russia, 197341.
E-mail: Yakovleva_EV@almazovcentre.ru

Received 10 May 2024; accepted 28 May 2024.

ABSTRACT

Congenital heart defects (CHD) are the most common form of congenital malformations in children.

Due to early diagnosis, rapid development of cardiac surgery technologies as well as successes in the care of severe patients after surgical correction of CHD, the survival and life expectancy of patients with CHD have significantly increased over the past decades. All this has led to the emergence of new population of patients with severe CHD and unique cardiac hemodynamics due to palliative intervention or multi-stage correction with large amount of exposure. Such patients have specific functional capabilities, special cardiopulmonary performance as well as the risk of serious adverse events (heart failure, life-threatening cardiac arrhythmias, sudden cardiac death and others).

The review presents generalized current understanding about the possibilities of a cardiorespiratory test in children with various CHD.

Key words: cardiorespiratory stress test, children, congenital heart diseases, physical capacity.

For citation: Yakovleva EV, Berezina AV, Korshikova YuV, et al. The possibilities of the cardiorespiratory test in evaluation the level of physical capacity and prognosis in pediatric patients with congenital heart diseases (literature review). Russian Journal for Personalized Medicine. 2024; 4(3):238-245. (In Russ.) DOI: 10.18705/2782-3806-2024-4-3-238-245. EDN: JXCMCX

Список сокращений: ВПС — врожденный порок сердца, ДМЖП — дефект межжелудочковой перегородки, ДМПП — дефект межпредсердной перегородки, КРНТ — кардиореспираторный нагрузочный тест, ТМА — транспозиция магистральных артерий, ФА — физическая активность, ФР — физическая работоспособность, ЧСС — частота сердечных сокращений.

ВВЕДЕНИЕ

Врожденные пороки сердца (ВПС) — самая частая форма среди всех пороков развития у детей. Частота встречаемости ВПС 2,4–13,7 на 1000 новорожденных, в среднем — это 8 на 1000 рожденных живыми [1]. По внутрисердечной морфологии и физиологии ВПС подразделяют на ацианотические и цианотичные, а по степени тяжести — на простые и сложные [2].

Благодаря ранней (в том числе пренатальной) диагностике, бурному развитию медицинских технологий в кардиохирургии, а также успехам в выхаживании тяжелых больных после хирургической коррекции ВПС, за последние десятилетия значимо увеличилась выживаемость и продолжительность жизни лиц с ВПС. Это привело к появлению новой популяции пациентов с тяжелыми ВПС, когда возможно проведение только паллиативного вмешательства либо когда имеет место уникальная сердечная гемодинамика, сформировавшаяся в силу того, что радикальная коррекция проводилась во много этапов и включала большой объем воздействий. Такие пациенты имеют специфические функциональные возможности, особенную сердечно-легочную работоспособность, а также риск развития серьезных неблагоприятных событий (сердечная недостаточность, жизнеугрожаю-

щие нарушения ритма сердца, внезапная сердечная смерть и др.) [3].

У многих детей после хирургической коррекции ВПС сохраняется определенная степень структурных аномалий, которые могут predispose к развитию таких осложнений, как аритмии или сердечная недостаточность [4, 5]. Эти осложнения могут привести к повторным вмешательствам, повторным госпитализациям, трансплантации сердца или смерти [6, 7]. Поэтому одной из основных задач наблюдения за данной группой пациентов является оценка риска развития осложнений с целью своевременного повторного вмешательства. Необходимо помнить, что у многих детей и подростков даже после радикальной коррекции ВПС уровень физической работоспособности (ФР) не соответствует возрастной норме.

Недавние исследования показали, что низкий уровень физической активности (ФА) и ФР ассоциируется с неблагоприятным прогнозом детей с ВПС. Кроме того, низкая ФА увеличивает риск развития ожирения у детей с ВПС, что приводит к дополнительной нагрузке на сердце [10].

Существует большое разнообразие типов ВПС с потенциально различным влиянием на исходную толерантность к физической нагрузке, например, единственный желудочек сердца, тетрада Фалло, транспозиция магистральных артерий или дефект межжелудочковой перегородки (ДМЖП). Сложность наблюдения за данной группой пациентов обусловлена, с одной стороны, отсутствием единых протоколов реабилитации, а с другой — несогласованным мнением специалистов об объеме физической активности после сложных, комбинированных ВПС, которые имеют разнообразный спектр специфических для конкретного ВПС поражений.

Формирование реабилитационных программ для этой группы детей основано на соблюдении адекватной физической активности, зависящей от исходного уровня физической работоспособности.

В руководствах по ведению пациентов с ВПС говорится, что эталонное значение толерантности к физической нагрузке должно быть специфичным для конкретного ВПС, однако в литературе имеются лишь ограниченные данные по этому вопросу. Объективным показателем, подходящим для стандартизации переносимости физических нагрузок, является потребление O_2 . Этот показатель непосредственно и индивидуально определяется при кардиопульмональном нагрузочном тестировании. Более того, значение пикового потребления O_2 (VO_{2peak}) обладает прогностическим значением у детей с ВПС [11, 12].

Кардиореспираторный нагрузочный тест (КРНТ) — это проба с физической нагрузкой с одновременной оценкой газообмена, которая позволяет оценить индивидуально динамику потребления O_2 и выделения CO_2 , а также прирост минутной вентиляции в покое, при ФН и в восстановительном периоде. КРНТ дает возможность комплексно и интегрально оценить системы и органы (сердечно-сосудистую, дыхательную и мышечную), участвующие в доставке и утилизации O_2 , а также установить ту систему, которая функционирует неадекватно в условиях ФН.

Объективным критерием ФР является максимальный или пиковый уровень потребления кислорода (VO_{2max} , VO_{2peak}), отражающий функциональное состояние и резервные возможности сердечно-сосудистой и легочной систем.

Прогностическую ценность, согласно исследованию HF-ACTION, проводимому во взрослой популяции, имеют такие параметры, как максимальное потребление кислорода (VO_{2max}), пиковое потребление кислорода — VO_{2peak} и вентиляторный эквивалент CO_2 — VE/VCO_2 . В группе пациентов с ВПС и сердечной недостаточностью снижение вышеперечисленных параметров свидетельствует об ограничениях сердечно-сосудистого резерва [16].

ПЕРЕНОСИМОСТЬ ФН У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ВРОЖДЕННЫМИ ПОРОКАМИ СЕРДЦА

Интересно, что у всех пациентов с ВПС уровень ФР снижен, даже у лиц с нетяжелыми ВПС, такими как дефект межпредсердной перегородки (ДМПП) и ДМЖП. Результаты исследований во взрослой популяции продемонстрировали, что, несмотря на от-

личную выживаемость, уровень ФР при «простых пороках» не был нормальным [9, 17]. Очевидного объяснения полученным результатам нет, но можно предположить, что у пациентов с ДМЖП строение межжелудочковой перегородки имеет неоднородную структуру, функция которой отличается от функционирования нормальной перегородки [18]. У пациентов с ДМПП влияние на ремоделирование оказывают позднее время закрытия дефекта и, следовательно, более длительная по времени преднагрузка на правый желудочек [19].

Поэтому пациенты даже с «простыми» ВПС требуют тщательного наблюдения как в детском, так и во взрослом возрасте.

В группе взрослых пациентов с унiventрикулярным кровообращением было продемонстрировано, что снижение VO_{2peak} от прогнозируемого на $>3\%$ в год является предиктором смерти или необходимости повторного кардиохирургического вмешательства [20]. Illinger V. и соавторы описали аналогичную закономерность в группе пациентов в возрасте от 10 до 30 лет [21].

У взрослых пациентов с гемодинамикой Фонтена доказанным предиктором смерти является низкая толерантность к ФН [22].

У детей прогностическая значимость КРНТ была изучена при тетраде Фалло. Yun-Jeng Tsai с коллегами оценивали сердечно-сосудистые осложнения и потребность в повторных операциях в течение 2 лет после операции [15]. Авторами было продемонстрировано, что недостаточный прирост и низкое значение VO_{2peak} ($32,6 + 6,7$ мл/кг/мин) являются предикторами развития осложнений [15].

МЕТОДОЛОГИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ С ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ У ДЕТЕЙ С ВРОЖДЕННЫМИ ПОРОКАМИ СЕРДЦА

Способность к выполнению физической нагрузки можно оценить с помощью стандартизированных тестов, таких как кардиореспираторный тест, тест шестиминутной ходьбы (6MWT), тест челночной ходьбы (SWT), тест на время вверх и вперед (TUG) или аналогичные тесты [23]. Однако у детей и подростков полученные результаты могут значительно отличаться от результатов взрослых из-за различия в физиологических и метаболических реакциях на стресс [24].

На сегодняшний день в педиатрической практике ведутся активные дискуссии о том, какой показатель следует использовать для стандартизации ФР в процессе роста ребенка. Были изучены такие

параметры, как возраст, рост, вес, площадь поверхности тела, безжировая масса тела и стадия полового созревания, тем не менее, не был установлен оптимальный показатель, который лучше всего бы коррелировал с постоянными изменениями в размерах тела растущего пациента [25].

Так, если у взрослых $VO_2\text{peak}$ и $W\text{peak}$ уменьшаются с возрастом, тогда как состав тела относительно стабилен [9, 26], у детей наоборот $VO_2\text{peak}$ и $W\text{peak}$ увеличиваются с возрастом, и основными факторами, по-видимому, являются развитие и рост мышечной массы, емкости легких и сердечного выброса [27].

По мнению Wouter J. van Genuchten и соавторов [28], у детей с ВПС с целью стандартизации физической нагрузки целесообразно использовать не возраст, а рост, вес или площадь поверхности тела, что согласуется с данными Li AM и коллег [29].

Интерпретация полученных результатов также остается не до конца унифицированной и общепринятой.

По результатам метаанализа, включавшего 21 исследование, где изучалась способность к физической нагрузке у детей и подростков от 5 до 17 лет с ВПС по сравнению со здоровыми, были выявлены достоверные различия по пиковому потреблению кислорода (пик VO_2), максимальной рабочей нагрузке ($W_{\text{макс}}$), вентиляционному эквиваленту (VE/VCO_2), кислородному пульсу (пульс O_2), максимальной частоте сердечных сокращений ($HR_{\text{макс}}$) по сравнению со здоровой группой контроля [30].

Для пациентов с цианотическими ВПС после паллиативных вмешательств, доказанным независимым предиктором смерти или госпитализации из-за сердечно-сосудистых осложнений является пиковое потребление кислорода ($VO_2\text{peak}$) [31, 32]. В то время как вентиляционный эквивалент продукции углекислого газа (VE/VCO_2) является универсальным, обладая высокой чувствительностью в качестве предиктора смерти у пациентов с различными ВПС [33].

Амедро и соавторы продемонстрировали, что у детей со сложными ВПС (единственный желудочек сердца, сложные аномалии АВ клапанов) и после паллиативных вмешательств наиболее распространено изменение пика VO_2 , по сравнению с контрольной группой. Более низкий пик VO_2 , по мнению данной группы исследователей, связан с систолической гипертензией правого желудочка и трикуспидальной регургитацией, которые часто встречаются при ВПС, сопровождающихся патологией правых камер сердца [12]. Подобные выводы были сделаны и в отношении пациентов с тетра-

дой Фалло, транспозицией магистральных артерий и ВПС с физиологией Фонтена [34].

О прогностической значимости КРНТ у пациентов с физиологией Фонтена имеется ряд публикаций, в которых подчеркнуто значение теста в отношении выживаемости, смертности и необходимости трансплантации. Этим событиям часто предшествует снижение $VO_2\text{peak}$ [35]. Cooney S. и соавторы постулируют, что изменение $VO_2\text{peak}$ является независимым прогностическим фактором, способствующим раннему выявлению тех пациентов, которым могло бы помочь более интенсивное и профилактическое лечение [35].

Важное значение имеет проведение КРНТ в динамике, потому что изменение пика VO_2 в динамике — более точный параметр, чем однократное измерение. Исследования, в которых осуществлялось длительное наблюдение за пациентами с физиологией Фонтена, отметили постепенное снижение пикового значения VO_2 с годами [33, 36]. Кроме того, снижение пика VO_2 с возрастом может быть фактором, который следует идентифицировать и учитывать у пациентов с ВПС в качестве параметра выбора для формирования своевременных программ кардиореабилитации, начинающихся даже на ранних этапах жизни (школьный возраст).

Наклон $VE/VCO_2 > 34$ повышен у большинства пациентов с сердечной недостаточностью, поскольку он обратно пропорционален уровню CO_2 при пиковой нагрузке и легочной перфузии, ситуация, которая также может наблюдаться у пациентов с ВПС [37]. В исследовании показано, что средний наклон VE/VCO_2 был значительно выше у пациентов с ВПС, чем у здоровых детей ($31,6 \pm 4,8$ против $29,3 \pm 4,8$; $P < 0,001$). В группе с ВПС увеличение наклона VE/VCO_2 было связано с индексом массы тела, наличием препятствия выносящего тракта ПЖ, количеством процедур катетеризации сердца, возрастом, форсированной жизненной емкостью легких, дыхательным объемом. Увеличение наклона VE/VCO_2 наблюдалось преимущественно у детей со значительной пульмональной и трикуспидальной регургитацией, правожелудочковой гипертензией, препятствием выносящего тракта правого желудочка, единственным желудочком и/или остаточными аномалиями правых отделов сердца, что указывает на то, что неравномерное распределение легочного кровотока во время нагрузки является важным и уникальным фактором, определяющим наклон VE/VCO_2 [38].

Кроме того, повышение наклона VE/VCO_2 обычно наблюдается при аномалиях легочных сосудов, легочной гипертензии, которая также может присутствовать у пациентов с ВПС [39].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уровень физической работоспособности, определяемый по VO_{2peak} , является одним из основных показателей при оценке качества жизни, связанного со здоровьем, риска заболеваемости и ранней смертности от сердечно-сосудистых, метаболических или респираторных заболеваний [40].

Анализ ФР детей и подростков с врожденными пороками сердца важен для подбора программ реабилитации с целью улучшения функционального состояния и резервных возможностей сердечно-сосудистой системы, качества жизни, поскольку позволяет своевременно воздействовать на неблагоприятные прогностические факторы, связанные с более высоким риском заболеваемости и смертности. У детей с ВПС оценка динамики уровня ФР, определяемого по VO_{2peak} , также может быть использована как предиктор прогноза заболевания [15].

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциального конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Шарыкин А.С. Врожденные пороки сердца. Руководство для педиатров, кардиологов, неонатологов. 2-е изд., 2009.
2. Puri K, Allen HD, Qureshi AM. Congenital Heart Disease. 2017.
3. Marelli AJ, Ionescu-Ittu R, Mackie AS, et al. Lifetime Prevalence of Congenital Heart Disease in the General Population from 2000 to 2010. 2014.
4. Norozi K, Wessel A, Alpers V, et al. Incidence and Risk Distribution of Heart Failure in Adolescents and Adults With Congenital Heart Disease After Cardiac Surgery. 2006.
5. Arnaert S, De Meester P, Troost E, et al. Heart failure related to adult congenital heart disease: prevalence, outcome and risk factors. 2021.
6. van der Ven JPG, van den Bosch E, Bogers AJCC, et al. State of the art of the Fontan strategy for treatment of univentricular heart disease. 2018.
7. van der Ven JPG, van den Bosch E, Bogers AJCC, et al. Current outcomes and treatment of tetralogy of Fallot. 2019.
8. Wohlgemuth Schaan C, Chagastelles Pinto de Macedo A, Sbruzzi G, et al. Functional Capacity in Congenital Heart Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. 2017.
9. Kempny A, Dimopoulos K, Uebing A, et al. Reference values for exercise limitations among adults with congenital heart disease. Relation to activities of daily life — single centre experience and review of published data. 2011.
10. Stefan MA, Hopman WM, Smythe JF. Effect of Activity Restriction Owing to Heart Disease on Obesity. 2005.
11. Stout KK, Committee W, Daniels CJ, et al. 2018 AHA/ACC Guideline for the Management of Adults With Congenital Heart Disease: Executive Summary. 2018.
12. Amedro P, Gavotto A, Guillaumont S, et al. Cardiopulmonary fitness in children with congenital heart diseases versus healthy children. 2017.
13. O'Connor CM, Whellan DJ, Lee KL, et al. for the HF-ACTION Investigators. Efficacy and safety of exercise training in patients with chronic heart failure: HF-ACTION randomized controlled trial. JAMA. 2009;301:1439–1450.
14. Возможности кардиопульмонального нагрузочного тестирования в оценке физической работоспособности и функционального состояния дыхательной системы у здоровых лиц. 2015.
15. Tsai Y-J, Li M-H, Tsai W-J, et al. Oxygen uptake efficiency slope and peak oxygen consumption predict prognosis in children with tetralogy of Fallot. 2015.
16. Swank AM, Horton J, Fleg JL, et al. Modest Increase in Peak VO_2 is Related to Better Clinical Outcomes in Chronic Heart Failure Patients: Results from Heart Failure and a Controlled Trial to Investigate Outcomes of Exercise Training (HF-ACTION). 2015.
17. Maagaard M, Eckerström F, Boutrup N, et al. Functional Capacity Past Age 40 in Patients With Congenital Ventricular Septal Defects. 2020.
18. Buckberg G, Hoffman JIE. Right Ventricular Architecture Responsible for Mechanical Performance: Unifying Role of Ventricular Septum. 2014.
19. Gomes RSM, Skroblin P, Munster AB, et al. “Young at heart”: Regenerative potential linked to immature cardiac phenotypes. 2016.
20. Egbe AC, Driscoll DJ, Kha AR, et al. Cardiopulmonary Exercise Test in Adults with Prior Fontan Operation: The Prognostic Value of Serial Testing. 2017.
21. Illinger V, Materna O, Slabý K, et al. Exercise capacity after total cavopulmonary anastomosis: a longitudinal paediatric and adult study. 2021.
22. Diller G-P, Giardini A, Dimopoulos K, et al. Predictors of morbidity and mortality in contemporary Fontan patients: results from a multicenter study including cardiopulmonary exercise testing in 321 patients. 2010.
23. Takken T, Bongers BC, van Brussel M, et al. Cardiopulmonary Exercise Testing in Pediatrics. 2017.
24. Danilo Marcelo Leite do Prado, Ana Maria F. Wanderley Braga, Maria Urbana Pinto Rondon, et

al. Cardiorespiratory Responses during Progressive Maximal Exercise Test in Healthy Children. 2009.

25. Blais S, Berbari J, Counil F-P, et al. A Systematic Review of Reference Values in Pediatric Cardiopulmonary Exercise Testing. 2015.

26. Koch B, Schaper C, Ittermann T, et al. Reference values for cardiopulmonary exercise testing in healthy volunteers: the SHIP study. 2009.

27. Bongers BC, van Brussel M, Hulzebos EHJ, et al. Pediatric norms for cardiopulmonary exercise testing: in relation to sex and age. 2014.

28. van Genuchte WJ, Helbing WA, Ten Harkel ADJ, et al. Exercise capacity in a cohort of children with congenital heart disease. 2022.

29. Li AM, Yin J, Au JT, et al. Standard Reference for the Six-Minute-Walk Test in Healthy Children Aged 7 to 16 Years. 2007.

30. Villaseca-Rojas Y, Varela-Melo J, Torres-Castro R, et al. Exercise Capacity in Children and Adolescents With Congenital Heart Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. 2022.

31. Giardini A, Specchia S, Tacy TA, et al. Usefulness of Cardiopulmonary Exercise to Predict Long-Term Prognosis in Adults With Repaired Tetralogy of Fallot. 2007.

32. Giardini A, Hager A, Lammers AE, et al. Ventilatory Efficiency and Aerobic Capacity Predict Event-Free Survival in Adults With Atrial Repair for Complete Transposition of the Great Arteries. 2009.

33. Fernandes SM, Alexander ME, Graham DA, et al. Exercise Testing Identifies Patients at Increased Risk for Morbidity and Mortality Following Fontan Surgery. 2011.

34. Trojnarowska O, Gwizdała A, Katarzyński S, et al. Evaluation of exercise capacity with cardiopulmonary exercise testing and BNP levels in adult patients with single or systemic right ventricles. 2010.

35. Cooney SJ, Campbell K, Wolfe K, et al. Is Neurodevelopment Related to Exercise Capacity in Single Ventricle Patients Who Have Undergone Fontan Palliation? 2020.

36. Muller J, Christov F, Schreiber C, et al. Exercise capacity, quality of life, and daily activity in the long-term follow-up of patients with univentricular heart and total cavopulmonary connection. 2009.

37. Kaafarani M, Schroer C, Takken T. Reference values for blood pressure response to cycle ergometry in the first two decades of life: comparison with patients with a repaired coarctation of the aorta. 2017.

38. Gavotto A, Huguet H, Picot M-C, et al. The VE/VCO₂ slope: a useful tool to evaluate the physiological status of children with congenital heart disease. 2020.

39. Klaassen SHC, Liu LCY, Hummel YM, et al. Clinical and Hemodynamic Correlates and Prognostic Value of VE/VCO₂ Slope in Patients with Heart Failure

with Preserved Ejection Fraction and Pulmonary Hypertension. 2017.

40. Barker K, Eickmeyer S. Therapeutic Exercise. 2019.

41. Bossers SSM, Helbing WA, Duppen N, et al. Exercise capacity in children after total cavopulmonary connection: Lateral tunnel versus extracardiac conduit technique. 2013.

Информация об авторах:

Яковлева Елена Владимировна, врач — детский кардиолог отделения кардиологии и медицинской реабилитации детского лечебно-реабилитационного комплекса Института перинатологии и педиатрии ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Березина Аэлита Валерьевна, д.м.н., главный научный сотрудник НИЛ кардиопульмонального тестирования НИО физиологии кровообращения Института сердца и сосудов ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Коршикова Юлия Викторовна, клинический ординатор кафедры детских болезней ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Вершинина Татьяна Леонидовна, заведующий отделением детской кардиологии и медицинской реабилитации детского лечебно-реабилитационного комплекса Института перинатологии и педиатрии ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Первунина Татьяна Михайловна, д.м.н., директор Института перинатологии и педиатрии ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Демченко Елена Алексеевна, д.м.н., главный научный сотрудник НИЛ реабилитации, профессор кафедры факультетской терапии с клиникой ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Старшинова Анна Андреевна, д.м.н., начальник Управления научными исследованиями, профессор кафедры факультетской терапии ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Васичкина Елена Сергеевна, д.м.н., руководитель НИЦ неизвестных, редких и генетически обусловленных заболеваний НЦМУ «Центр персонализированной медицины» ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова», профессор кафедры детских болезней лечебного факультета Института медицинского образования ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России.

Authors information:

Yakovleva Elena V., pediatric cardiologist, Department of Pediatric Cardiology and Medical Rehabilitation, Children's medical and rehabilitation complex, Institute of Perinatology and Pediatrics of the Almazov National Medical Research Centre;

Berezina Aelita V., PhD, MD, Chief Researcher of the Institute of Cardiorespiratory Testing of the Institute of

Heart and Blood Vessels of the Research Department of Circulatory Physiology of the Almazov National Medical Research Centre;

Korshikova Yulia V., clinical resident of the Department of Pediatric Diseases of the Almazov National Medical Research Centre;

Vershinina Tatyana L., head of the Department of Pediatric Cardiology and Medical Rehabilitation, cardiologist, Children's medical and rehabilitation complex, Institute of Perinatology and Pediatrics of the Almazov National Medical Research Centre;

Pervunina Tatyana M., PhD, MD, Director of the Institute of Perinatology and Pediatrics of the Almazov National Medical Research Centre;

Demchenko Elena A., PhD, MD, Chief Researcher of the Rehabilitation Institute, Professor of the Department of Faculty Therapy with the clinic of the Almazov National Medical Research Centre;

Starshinova Anna A., PhD, MD, Head of Scientific Research Department, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Faculty Therapy of the Almazov National Medical Research Centre;

Vasichkina Elena S., PhD, MD, Head of the Scientific Research Centre for Unknown, Rare and Genetically Caused Diseases of the National Centre for Personalized Medicine, Professor of the Department of Pediatric Diseases of the Medical Faculty of the Institute of Medical Education of the Almazov National Medical Research Centre.