

Новый протокол диагностики нагрузочных нарушений ритма и проводимости у детей младшего и дошкольного возрастов

Васичкина Е. С.¹, Алексеева Д. Ю.^{1,2}, Горожанкина Е. Ю.¹, Крестелева А. С.¹, Кофейникова О. А.¹, Первунина Т. М.¹

Цель. Разработать протокол диагностики нагрузочных нарушений ритма и проводимости у детей без структурной патологии сердца 3-6 лет.

Материал и методы. В исследование включено 20 пациентов (11 мальчиков) детского возраста 58,7±2,12 мес. с желудочковыми нарушениями ритма (ЖНР) и/или атриовентрикулярной (АВ) блокадой по данным электрокардиограммы (ЭКГ) и/или суточного мониторирования ЭКГ. Всем пациентам проводилось тщательное клиническое и лабораторно-инструментальное обследование, включающее пробу с физической нагрузкой (ФН) по протоколу Bruce и заявленному протоколу. Критериями прекращения пробы служило первое событие из ряда: достижение заданной целью исследования частоты сердечных сокращений; появление и/или усугубление потенциально опасных нарушений ритма и проводимости: одиночные желудочковые экстрасистолы (ЖЭ) с нарастающей частотой, и/или ранние ЖЭ, и/или парные ЖЭ, и/или желудочковая тахикардия, и/или АВ-блокада; регистрация аллоритмии по типу бигеминии в течение 10 сек.

Результаты. Критерии окончания пробы при использовании заявленного протокола статистически значимо были достигнуты у всех пациентов (n=20, 100%) по сравнению с использованием стандартного протокола Bruce (n=5, 25,0%), p<0,001. Количество пройденных ступеней было значимо выше на нагрузочной пробе (НП) по заявленному протоколу 5,0 [5,00-6,00], чем при использовании стандартного протокола Bruce 2,0 [2,0-3,0], p<0,05. Толерантность к ФН была достоверно больше при применении заявленного протокола, чем при использовании стандартного протокола Bruce (p<0,05). Шансы достижения критериев окончания пробы при использовании заявленного протокола были в 116 раз больше, чем при применении стандартного протокола Bruce (отношение шансов 116, 95% доверительный интервал: 5,93-2250, p=0,0017) с учетом поправки Холдгейна-Энскомба. ЖНР зарегистрированы у 20,0% (n=4) пациентов при использовании заявленного протокола, нарушения АВ-проводимости — у 20,0% (n=4). Среди пяти пациентов, у которых были достигнуты критерии окончания пробы с ФН по стандартному протоколу Bruce, ЖНР во время тестирования регистрировались у 10,0% (n=2) пациентов, нарушения АВ-проводимости — у 5,00% (n=1).

Заключение. Использование НП по заявленному протоколу позволяет достичь критериев прекращения пробы, увеличивает ее информативность и диагностическую значимость. Дает возможность определить характер ЖНР и оценить характер нарушения АВ-проводимости.

Ключевые слова: нагрузочные пробы, желудочковые нарушения ритма, атриовентрикулярная блокада, физическая нагрузка, протокол Bruce, дети.

Отношения и деятельность: нет.

¹ФГБУ НМИЦ им. В.А. Алмазова Минздрава России, Санкт-Петербург; ²ФГБУ НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера Минздрава России, Пушкин, Россия.

Васичкина Е. С.* — д.м.н., руководитель НИО неизвестных, редких и генетически-обусловленных заболеваний НЦМУ "Центр персонализированной медицины", ORCID: 0000-0001-7336-4102, Алексеева Д. Ю. — к.м.н., н.с. НИО неизвестных, редких и генетически обусловленных заболеваний НЦМУ "Центр персонализированной медицины"; врач-кардиолог консультативно-отделения КДЦ, ORCID: 0000-0003-1751-1424, Горожанкина Е. Ю. — врач функциональной диагностики отделения функциональной диагностики, ORCID: 0000-0002-6261-7191, Крестелева А. С. — врач функциональной диагностики отделения функциональной диагностики с ультразвуковыми методами исследования, ORCID: 0000-0003-1096-2521, Кофейникова О. А. — м.н.с. НИО неизвестных, редких и генетически обусловленных заболеваний НЦМУ "Центр персонализированной медицины", врач-детский кардиолог отделения кардиологии и медицинской реабилитации детского лечебно-реабилитационного корпуса Института перинатологии и педиатрии, ORCID: 0000-0003-4720-9023, Первунина Т. М. — д.м.н., директор Института перинатологии и педиатрии, ORCID: 0000-0001-9948-7303.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):
vasichkinaelena@mail.ru

АВ — атриовентрикулярная, ЖНР — желудочковые нарушения ритма, ЖЭ — желудочковая экстрасистолия, ЖТ — желудочковая тахикардия, НП — нагрузочная проба, СМЭКГ — суточное мониторирование электрокардиограммы, ФН — физическая нагрузка, ЧСС — частота сердечных сокращений, ЭКГ — электрокардиограмма, BCCN — British Columbia Children's Hospital.

Рукопись получена 10.06.2022

Рецензия получена 29.06.2022

Принята к публикации 07.07.2022



Для цитирования: Васичкина Е. С., Алексеева Д. Ю., Горожанкина Е. Ю., Крестелева А. С., Кофейникова О. А., Первунина Т. М. Новый протокол диагностики нагрузочных нарушений ритма и проводимости у детей младшего и дошкольного возрастов. *Российский кардиологический журнал*. 2022;27(7):5107. doi:10.15829/1560-4071-2022-5107. EDN VJZSGE

New protocol for diagnosing exercise-induced arrhythmias and conduction disturbances in early and preschool age children

Vasichkina E. S.¹, Alekseeva D. Yu.^{1,2}, Gorozhankina E. Yu.¹, Kreteleva A. S.¹, Kofeynikova O. A.¹, Pervunina T. M.¹

Aim. To develop a protocol for diagnosing exercise-induced arrhythmias and conduction disturbances in children aged 3-6 years without structural heart disease.

Material and methods. The study included 20 patients (11 boys) aged 58,7±2,12 months with ventricular arrhythmias (VA) and/or atrioventricular (AV) block according to single electrocardiographic (ECG) records and/or 24-hour ECG monitoring. All patients underwent a thorough clinical and paraclinical examination, including exercise stress testing using original and Bruce protocols. The

termination criteria were the first of following events: achievement of the heart rate set by the study aim; the appearance and/or aggravation of potentially dangerous arrhythmias and conduction disorders (single premature ventricular contraction (PVCs) with increasing frequency, and/or early PVCs, and/or paired PVCs, and/or ventricular tachycardia (VT), and/or AV block); registration of aliorhythmia (bigeminy) within 10 seconds.

Results. The termination criteria using the original protocol were achieved in all patients (n=20, 100%) compared to the standard Bruce protocol (n=5, 25,0%),

$p < 0,001$. The number of steps passed was significantly higher using original protocol (5,0 [5,00-6,00]) than when using the standard protocol Bruce 2,0 [2,0-3,0], $p < 0,05$. Exercise tolerance was significantly higher when using the original protocol than the standard Bruce protocol ($p < 0,05$). The probability of reaching the termination criteria using the original protocol were 116 times greater than using the standard Bruce protocol (odds ratio, 116, 95% confidence interval: 5,93-2250, $p = 0,0017$). VAs were registered in 20,0% ($n = 4$) of patients using the original protocol, while AV blocks — in 20,0% ($n = 4$). Among the five patients who achieved the termination criteria using the standard Bruce protocol, VAs were recorded in 10,0% ($n = 2$) of patients, while AV blocks — in 5,00% ($n = 1$).

Conclusion. The use of exercise test with an original protocol makes it possible to achieve the termination criteria, increases its information content and diagnostic significance. It makes it possible to determine the nature of VAs and AV conduction disorders.

Keywords: exercise tests, ventricular arrhythmias, atrioventricular block, exercise, Bruce protocol, children.

Relationships and Activities: none.

¹Almazov National Medical Research Center, St. Petersburg; ²Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Pushkin, Russia.

Vasichkina E. S.* ORCID: 0000-0001-7336-4102, Alekseeva D. Yu. ORCID: 0000-0003-1751-1424, Gorozhankina E. Yu. ORCID: 0000-0002-6261-7191, Kresteleva A. S. ORCID: 0000-0003-1096-2521, Kofeynikova O. A. ORCID: 0000-0003-4720-9023, Pervunina T. M. ORCID: 0000-0001-9948-7303.

*Corresponding author:
vasichkinaelena@mail.ru

Received: 10.06.2022 **Revision Received:** 29.06.2022 **Accepted:** 07.07.2022

For citation: Vasichkina E. S., Alekseeva D. Yu., Gorozhankina E. Yu., Kresteleva A. S., Kofeynikova O. A., Pervunina T. M. New protocol for diagnosing exercise-induced arrhythmias and conduction disturbances in early and preschool age children. *Russian Journal of Cardiology*. 2022;27(7):5107. doi:10.15829/1560-4071-2022-5107. EDN VJZSGE

Ключевые моменты

- Показана актуальность применения нагрузочного тестирования с целью диагностики нагрузочных нарушений ритма и проводимости у детей младшего и дошкольного возрастов.
- Разработан новый протокол диагностики нагрузочных нарушений ритма и проводимости у детей младшего и дошкольного возрастов, учитывающий ограничения традиционных проб с физической нагрузкой.
- Результаты исследования демонстрируют широкую возможность использования нагрузочного тестирования по заявленному протоколу у детей младшего и дошкольного возрастов в клинической практике.

Key messages

- The relevance of using stress testing for the diagnosis of exercise-induced arrhythmias and conduction disorders in early and preschool age children is shown.
- A new protocol for diagnosing exercise-induced arrhythmia and conduction disorders in early and preschool age children has been developed, taking into account the limitations of conventional exercise tests.
- The study results demonstrate the wide possibility of using exercise testing according to the declared protocol in early and preschool age children in clinical practice.

Пробы с дозированной физической нагрузкой (ФН) используются в педиатрической популяции с целью диагностики, в т.ч., нагрузочных нарушений ритма (Па класс показаний) и проводимости, а также оценки эффективности антиаритмической терапии [1-3]. Популярность применения нагрузочных проб (НП) в педиатрической практике объясняется относительной простотой их использования, экономичностью и возможностью применения на амбулаторном этапе. Следует отметить, что для педиатрической популяции характерно увеличение нарушений ритма сердца в определенные возрастные периоды, включая младший и дошкольный возрасты [4, 5].

В педиатрической практике используются пробы на велоэргометре и тредмиле [2, 6]. Следует отметить, что пробы на велоэргометре по данным зарубежных авторов можно применять у детей с 6 лет, по данным отечественных исследователей — в более старшем

возрасте, что связано с умением крутить педали, наличием силы, определенной подготовки и т.д. [1, 6, 7]. Пробы на тредмил-тесте более физиологичны и естественны, т.к. имитируют ходьбу, и могут быть использованы у детей с 3,5-4-х лет [1, 2, 6, 7].

Одним из наиболее известных и широко используемых в повседневной практике нагрузочных тестов является стандартный протокол Bruce с непрерывно возрастающей ступенчатой нагрузкой с длительностью каждой ступени 3 мин [2, 3, 7]. При этом следует отметить, что разработан он был для лиц старшей возрастной группы, а именно, для диагностики ишемической болезни сердца [1, 8]. Первое крупное исследование с использованием стандартного протокола Bruce у здоровых детей от 4 до 18 лет ($n = 327$) было проведено Cumming GR, et al. в 1978г с целью определения нормативных значений во время пробы с ФН для здоровых детей разных возрастных групп [9].

Также известно несколько небольших исследований с использованием стандартного протокола Bruce у здоровых детей для оценки толерантности к ФН и других параметров [10, 11]. Так, в проведенном ~10 лет назад двухлетнем поперечном исследовании на здоровых детях (n=80) 4-5 лет анализировалось сравнение нормативных параметров при проведении нагрузочного тестирования с помощью стандартного протокола Bruce и протокола half Bruce. Half Bruce отличается от стандартного протокола Bruce длительностью ступени: 1,5 мин вместо 3 мин. В результате данной работы были представлены новые нормативные значения для стандартного протокола Bruce у здоровых детей 4-5 лет. Также авторы продемонстрировали, что значения, полученные в двух используемых протоколах, не должны рассматриваться как взаимозаменяемые, и выявленные новые нормативные значения можно использовать в качестве эталонных только для стандартного протокола Bruce. Кроме того, исследователи не указывали на возможность использования модифицированного протокола half-Bruce и стандартного протокола Bruce в группе детей с нарушениями ритма и проводимости [10].

В 2017г Duff K, et al. продемонстрировали результаты своей работы, в которой проводили сравнительную оценку использования нового протокола BCCN (British Columbia Children's Hospital), разработанного в детской больнице Ванкувера, со стандартным протоколом Bruce у здоровых физически активных детей 10-18 лет (n=70). Авторы сравнивали показатели потребления кислорода, минутной вентиляции, пиковой частоты сердечных сокращений (ЧСС) на нагрузке и коэффициенты дыхательного обмена со значениями толерантности к ФН в двух группах. Исследователи продемонстрировали, что BCCN протокол может быть использован в качестве альтернативы стандартному протоколу Bruce. При этом авторы акцентируют внимание на том, что в исследовании принимали участие здоровые, активные дети от 10 лет, что не дает возможности перенести результаты работы на выборку детей более младшего возраста и имеющих какие-либо отклонения со стороны сердечно-сосудистой системы [12].

Кроме того, в литературе нам не удалось встретить данных об использовании стандартного протокола Bruce у пациентов младшего и дошкольного возрастов для оценки нагрузочных нарушений ритма и проводимости, а также данные об информативности и диагностической значимости его применения у пациентов этой возрастной группы.

Согласно заявлению совета Американской ассоциации сердца по сердечно-сосудистым заболеваниям в клиническом стресс-тестировании у детей от 2006г, помимо стандартного протокола Bruce рекомендовано использование протокола B. Balke в педиатрической практике [7]. Данный протокол пред-

усматривает увеличение наклона, в то время как скорость беговой дорожки поддерживается постоянной — 3,5 миль/ч. Его использование также ограничено, т.к. изначально он разрабатывался для лиц старшей возрастной группы с очень низкой толерантностью к ФН и/или пациентов с признаками недостаточности кровообращения. Встречаются сведения о его использовании как у здоровых, так и у хронически больных детей от 6 до 18 лет. Существует модифицированная версия данного протокола, которая была применена для тестирования хронически больных детей, а также здоровых детей с различным уровнем физической подготовки. В модифицированной версии протокола Balke используются более высокие постоянные скорости, т.н. “бегущий Balke”. Данный вид НП также был внедрен и протестирован у физически активных детей. Было выявлено, что модифицированный Balke подходит для тестирования тучных, хронически больных детей. Имеются данные о его использовании у подростков [7, 13].

В таблице 1 подробно представлена характеристика протоколов для нагрузочного тредмил-теста, используемая в педиатрической практике.

Согласно рекомендациям по нагрузочному тестированию Американской ассоциации сердца критерии прекращения НП, используемые во взрослой группе пациентов, могут быть перенесены на детскую популяцию: достижение субмаксимального значения ЧСС, появление клинических, электрокардиографических или гемодинамических критериев прекращения пробы [1].

Таблица 1
Протоколы для нагрузочного тредмил-теста у детей, адаптировано из [2]

Ступень	Скорость		Угол наклона	Длительность
	миль/ч	км/ч	%	мин
Протокол Bruce				
1	1,7	2,7	10,0	3
2	2,5	4,0	12,0	3
3	3,4	5,4	14,0	3
4	4,2	6,7	16,0	3
5	5,0	8,0	18,0	3
6	5,5	8,8	20,0	3
7	6,0	9,6	22,0	3
Протокол B. Balke				
1	3,5	5,6	2,0	1
2	3,5	5,6	3,0	1
3	3,5	5,6	4,0	1
4	3,5	5,6	5,0	1
5	3,5	5,6	6,0	1
6	3,5	5,6	7,0	1
7	3,5	5,6	8,0	1
8	3,5	5,6	9,0	1
9	3,5	5,6	10,0	1

Таблица 2
Данные холтеровского мониторингирования

Показатели СМЭКГ для (n=17)	Me	IQR
Одиночные ЖЭ, количество/сут.	1610,0	165-8002
Одиночные ЖЭ в сут., количество/ч	80,0	7,00-343,5
Одиночные ЖЭ, количество/день	705,0	165,0-3519
Одиночные ЖЭ днем, количество/ч	47,0	11,0-226
Одиночные ЖЭ, количество/ночь	6,00	0,50-3137
Одиночные ЖЭ ночью, количество/ч	0,29	0,07-392,0
Парные ЖЭ, количество/сут.	1,00	0,00-17,5
Пароксизмы ЖТ, количество/сут.	0,00	0,00-1,00
Процент эктопической активности	2,00	1,00-7,50

Сокращения: ЖТ — желудочковая тахикардия, ЖЭ — желудочковая экстрасистолия, СМЭКГ — суточное мониторирование электрокардиограммы.

В нашей стране по данным литературы основным нагрузочным тестом, применяемым у детей с нарушениями ритма и проводимости, является стандартный протокол Bruce [2]. Однако существует неудовлетворенность медицинского персонала существующим тестом. Он имеет определенные недостатки у детей младшей возрастной группы: их использование, по нашим данным, неинформативно у детей младшего возраста в связи с невозможностью достижения субмаксимальной ЧСС в основном за счет быстрой утомляемости: выполнение монотонной нагрузки в течение длительного времени — 3 мин. Помимо этого, резкий подъем дорожки на первой ступени с последующим увеличением как наклона, так и скорости сопровождается чувством страха и невозможностью удержаться в вертикальном положении: ребенок сильно опирается на поручни, что приводит к возникновению большого количества помех, артефактов при записи электрокардиограммы (ЭКГ) и искажению истинных значений толерантности к ФН, а также увеличивает время достижения субмаксимальной ЧСС. Невозможность достижения субмаксимальной ЧСС как одного из критерия прекращения пробы не позволяет оценить атриовентрикулярное (АВ) проведение на фоне ФН у детей с нарушениями АВ-проводения и, соответственно, вынести верное заключение и определиться с тактикой ведения. Всё это, безусловно, существенно снижает диагностическую ценность исследования.

Нагрузочные нарушения ритма являются прогностически неблагоприятным признаком и повышают риск возникновения потенциально опасных желудочковых нарушений ритма (ЖНР), требуют медикаментозной коррекции и наблюдения [2, 14]. Ухудшение АВ-проводимости на фоне ФН также расценивается как неблагоприятное явление, свидетельствующее о дистальном поражении АВ-узла. Оно может приводить к появлению клинически значимых пауз, сопровождающихся потерей сознания,

ухудшению качества жизни, что требует госпитализации с целью определения тактики ведения пациентов [15].

Таким образом, ограничения имеющихся на данный момент рекомендованных проб с ФН в арсенале врача-детского кардиолога и врача функциональной диагностики, низкая их информативность и, соответственно, диагностическая значимость, что не всегда позволяет врачу принять верное решение в тактике ведения и лечения маленьких пациентов с нарушениями ритма и проводимости, способствовало проведению данного исследования. Актуальность данного исследования не вызывает сомнений.

Цель исследования — разработать протокол диагностики нагрузочных нарушений ритма и проводимости у детей без структурной патологии сердца 3-6 лет.

Материал и методы

Исследование выполнено на базе ФГБУ «НМИЦ им В.А. Алмазова» Минздрава России. В период с ноября 2020г по сентябрь 2021г из 283 пациентов в возрасте 3-6 лет, проходивших обследование в ДЛРК им. В.А. Алмазова, было отобрано 20 детей (средний возраст $58,7 \pm 2,12$ мес., 11 мальчиков и 9 девочек) без структурной патологии сердца с ЖНР и АВ-блокадой по данным ЭКГ и/или суточного мониторирования ЭКГ (СМЭКГ). Обследование включало сбор жалоб и семейного анамнеза, общеклинический осмотр, оценку лабораторных показателей: клинический, биохимический анализ крови, оценку тиреоидного статуса; ЭКГ, холтеровское мониторирование, эхокардиографию, пробу с ФН. По показаниям пациентам проводились магнитно-резонансная томография, генетическое обследование, консультация узких специалистов.

Ни один из участников исследования жалоб не предъявлял. По данным СМЭКГ у 17 (85%) пациентов выявлены ЖНР (табл. 2). В большинстве случаев (70,6%) регистрировался дневной тип аритмии, в 11,8% — смешанный и у 17,6% — ночной. Среди нарушений АВ-проводимости по данным СМЭКГ у 3 (15,0%) детей регистрировалась транзиторная АВ-блокада 1 ст. в ночное время с максимальным удлинением интервала PQ до 256 мс. Также у 3 (15,0%) человек обнаружена транзиторная АВ-блокада 2 ст. 1 типа в течение суток с максимальной паузой 2104 мс в ночное время. У одного (5,00%) ребенка регистрировалась транзиторная АВ-блокада 2 ст. 1 и 2 типа в течение суток с максимальной паузой 1333 мс. Сочетание ЖНР с АВ-блокадой по результатам СМЭКГ наблюдалось у 4 (23,5%) детей, при этом нарушение АВ-проводимости было по типу АВ-блокады 1 ст. у 3 (17,6%) участников и по типу АВ-блокады 2 ст. 1 и 2 типа у одного (5,88%).

Таблица 3

Протокол по заявленному способу

Ступень	Скорость	Угол наклона	Длительность
	км/ч	%	мин
1	2,7	0,0	2
2	2,7	5,0	2
3	3,4	10,0	2
4	4,0	12,0	2
5	5,4	14,0	2
6	6,7	14,0	2
7	8,0	14,0	2

Всем пациентам в разные дни в одно и то же время при одних и тех же условиях выполнялись тредмил-тест по стандартному протоколу Bruce и тредмил-тест по заявленному протоколу. Очередность проведения того или иного вида пробы была рандомизирована с целью повышения качества исследования. Критериями прекращения нагрузочного теста служило первое событие из ряда:

1) достижение заданной целью исследования ЧСС;

2) появление и/или усугубление потенциально опасных нарушений ритма и проводимости, таких как одиночные желудочковые экстрасистолы (ЖЭ) с нарастающей частотой, и/или ранние ЖЭ, и/или парные ЖЭ, и/или желудочковая тахикардия (ЖТ), и/или АВ-блокада;

3) регистрация аллоритмии по типу бигеминии в течение 10 сек.

В результате клинических наблюдений нами было установлено, что появление единичных ЖЭ на ФН в количестве 25-30 ЖЭ в мин, в т.ч. аллоритмированных по типу тригеминии, тетрагеминии, не всегда является показанием к остановке проведения пробы, т.к. при продолжении теста у части пациентов данные нарушения ритма исчезают. При этом появление аллоритмии по типу бигеминии в течение 10 сек приводит к появлению потенциально опасных ЖНР.

НП по заявленному протоколу проводилась на тредмиле с продолжительностью каждой ступени 2 мин, скоростью 2,7 км/ч и углом наклона 0% на первой ступени, скоростью 2,7 км/ч и углом наклона 5,0% на второй ступени, скоростью 3,4 км/ч и углом наклона 10,0% на третьей ступени, скоростью 4,0 км/ч и углом наклона 12,0% на четвертой ступени, скоростью 5,4 км/ч и углом наклона 14,0% на пятой ступени, скоростью 6,7 км/ч и углом наклона 14,0% на шестой ступени, скоростью 8,0 км/ч и углом наклона 14,0% на седьмой ступени, до достижения одного из критериев окончания пробы (табл. 3).

Исследование было выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинкской декларации. Протокол исследования был одобрен Этическими комитетами всех участвующих клинических центров. До включения в исследование у законных представителей всех участников было получено письменное информированное согласие.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2022-301 от 20.04.2022г).

Статистический анализ. Статистический анализ был проведен с помощью программного обеспечения IBM SPSS версии 26.0. Сравнительный анализ проводился с помощью критерия Уилкоксона для

сравнения непараметрических показателей для связанных выборок. Статистическая значимость была установлена на уровне $p < 0,05$.

Результаты

Техническим результатом заявленного изобретения является создание протокола диагностики нагрузочных нарушений ритма и проводимости у детей 3-6 лет без структурной патологии сердца, позволяющего достичь критерии прекращения пробы и оценить ЖНР и АВ-проведение на нагрузке.

Была проведена сравнительная оценка гемодинамических параметров в период покоя (табл. 4). Отсутствие статистически значимых различий в результате сравнительной оценки ЧСС и артериального давления в покое перед проведением НП делают возможным дальнейшее сравнение этих показателей во время проведения тестирования. Достоверно значимых различий в жалобах при проведении пробы с ФН по двум протоколам получено не было. Основные жалобы во время нагрузочного тестирования были: усталость в ногах, общая усталость и нежелание продолжать исследование.

Критерии окончания пробы при использовании заявленного протокола были достигнуты у всех пациентов ($n=20$, 100%) по сравнению с применением стандартного протокола Bruce ($n=5$, 25,0%), что было статистически значимо, $p < 0,001$. Результаты сравнительного анализа показателей нагрузочного тестирования при использовании двух протоколов представлены в таблице 5. Стоит отметить, что у 15 (75,0%) детей при выполнении нагрузочного тестирования по стандартному протоколу Bruce не были достигнуты ни электрокардиографические, ни гемодинамические критерии прекращения пробы. Тестирование было остановлено в большинстве случаев в связи с усталостью в ногах ($n=9$, 60,0%), общей усталостью ($n=3$, 20,0%) и нежеланием продолжать исследование ($n=3$, 20,0%).

Так, прирост ЧСС между ступенями при применении заявленного протокола был статистически значимо меньше, чем при использовании стандарт-

Таблица 4

Сравнение гемодинамических показателей в период покоя перед проведением НП по заявленному способу и стандартному протоколу Bruce

Показатели	Нагрузочные пробы				p
	Заявленный способ (n=20)		Протокол Bruce (n=20)		
	Me	IQR	Me	IQR	
ЧСС в покое, уд./мин	93,5	78,3-108	96,5	83,0-111	0,51
САД в покое, уд./мин	90,0	82,5-90,0	90	80,0-90,0	0,72
ДАД в покое, уд./мин	60,0	60,0-60,0	60	52,5-60,0	0,71

Сокращения: ДАД — диастолическое артериальное давление, САД — систолическое артериальное давление, ЧСС — частота сердечных сокращений.

Таблица 5

Сравнение различных показателей при использовании НП по заявленному способу и стандартному протоколу Bruce

Показатели	Нагрузочные пробы				p
	Заявленный способ (n=20)		Протокол Bruce (n=20)		
	Me	IQR	Me	IQR	
Прирост ЧСС на первой ступени нагрузки, уд./мин	8,0	4,25-13,75	16,0	9,25-24,3	0,005*
Прирост ЧСС на второй ступени нагрузки, уд./мин	5,0	1,25-7,00	17,0	12,0-20,5	<0,001*
Количество ступеней	5,0	5,00-6,00	2,0	2,00-3,00	<0,001*
Толерантность к ФН. MET	8.7	8.0-10.3	7.5	7.1-8.03	0.001*

Примечание: * — изменения показателей статистически значимы ($p < 0,05$).

Сокращения: ФН — физическая нагрузка, ЧСС — частота сердечных сокращений.

ного протокола Bruce, $p < 0,05$. Количество пройденных ступеней было значимо выше на НП по заявленному протоколу 5,0 [5,00-6,00], чем при пробе с ФН по стандартному протоколу Bruce 2,0 [2,0-3,0], $p < 0,05$. И, как следствие, толерантность к ФН была достоверно больше при использовании заявленного протокола, чем при применении стандартного протокола Bruce, $p < 0,05$.

Результаты сравнительного анализа продемонстрировали, что шансы достижения критериев окончания пробы при использовании заявленного протокола были в 116 раз больше, чем при применении стандартного протокола Bruce (отношение шансов 116, 95% доверительный интервал: 5,93-2250, $p = 0,0017$) с учетом поправки Холдейна-Энскомба (Haldane-Anscombe correction).

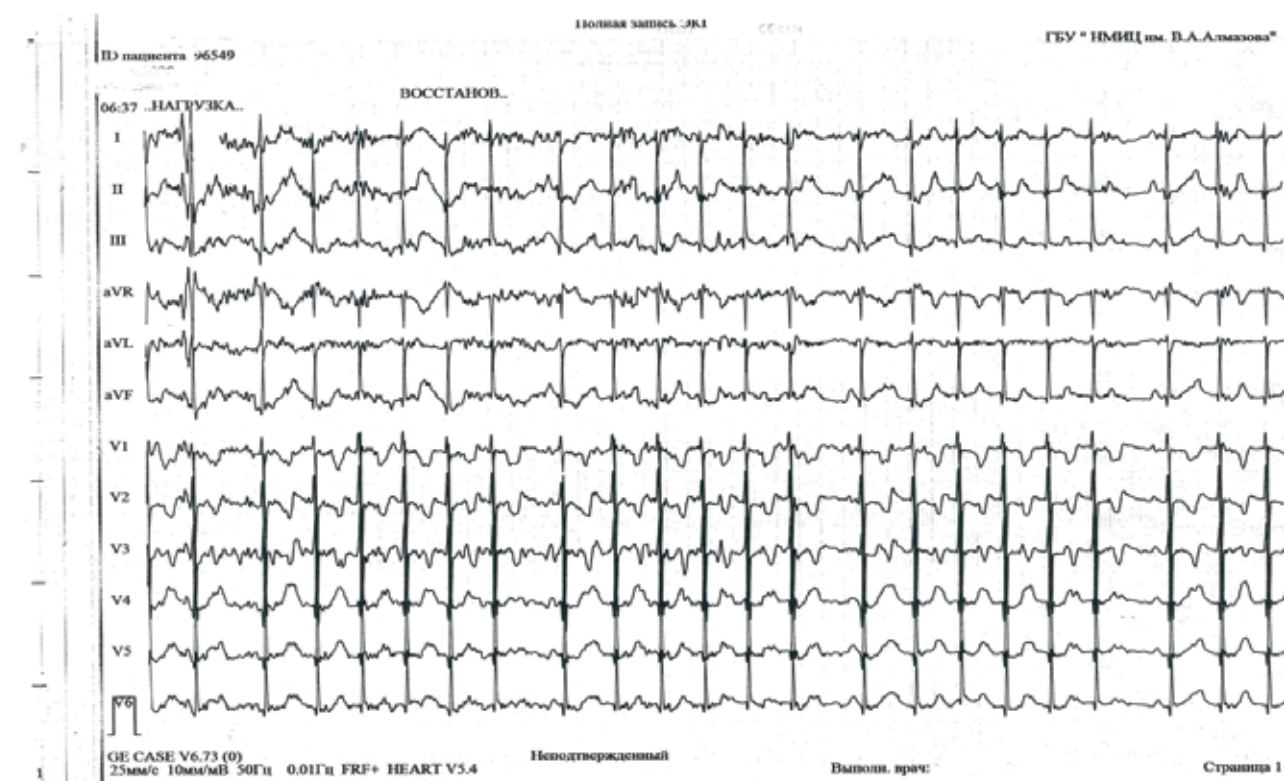
ЖНР при проведении пробы с ФН по заявленному протоколу были зарегистрированы у 20,0% ($n = 4$) пациентов, нарушения АВ-проводимости — у 20,0% ($n = 4$). Среди пяти пациентов, у которых были достигнуты критерии окончания пробы с ФН по стандартному протоколу Bruce, ЖНР во время тестирования регистрировались у 10,0% ($n = 2$) пациентов, нарушения АВ-проведения — у 5,00% ($n = 1$). При этом ЖНР и нарушение АВ-проводимости были зарегистрированы у одних и тех же пациентов как при использовании НП по заявленному протоколу, так и при проведении тестирования по стандартному протоколу Bruce.

Результаты нашего исследования показали, что использование предложенного протокола позволяет достичь критериев окончания пробы, что повышает ее информативность, позволяет получить диагностически верное заключение и определить эффективную тактику ведения. Заявленный протокол может быть использован в педиатрии, кардиологии для диагностики нагрузочных нарушений ритма и проводимости, оценки толерантности к ФН, выборе тактики ведения, а также оценки эффективности терапии у детей младшей возрастной группы.

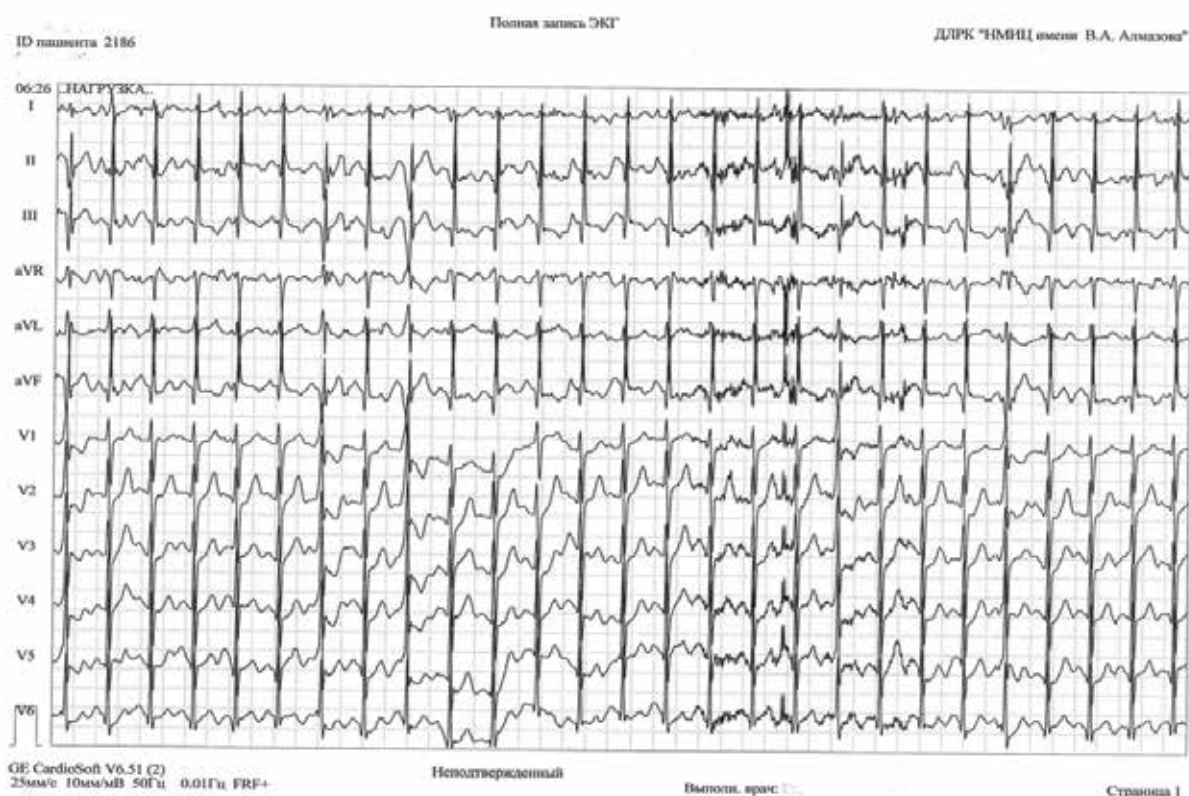
В качестве иллюстрации приводим два клинических примера использования заявленного способа

Клинический пример № 1. В Центр им. В.А. Алмазова был направлен пациент Г., 5 лет с предварительным диагнозом: АВ-блокада II степени I типа, — по данным ЭКГ. Жалоб не предъявлял. Синкопе, пресинкопе, случаи внезапной сердечной смерти в семье отрицались. Ему было проведено тщательное лабораторно-инструментальное обследование, по результатам которого данных за структурную патологию сердечно-сосудистой, эндокринной систем получено не было.

Пациенту выполнен тредмил-тест по протоколу Bruce. Тест был остановлен в связи с усталостью в ногах и невозможностью дальнейшего выполнения пробы при частоте сокращений предсердий 150 уд./мин, частота сокращения желудочков составила 130 уд./мин, что соответствует 60,4% от максималь-



А



Б

Рис. 1. (А) ЭКГ пациента Г. 5 лет: на высоте НП по протоколу Bruce регистрировался синусовый ритм, АВ-блокада II степени, с проведением 3:2,4:3; **(Б)** ЭКГ пациента Г. 5 лет: на высоте НП по заявленному способу регистрировался синусовый ритм без признаков нарушения АВ-проведения при ЧСС 140-170 уд./мин.

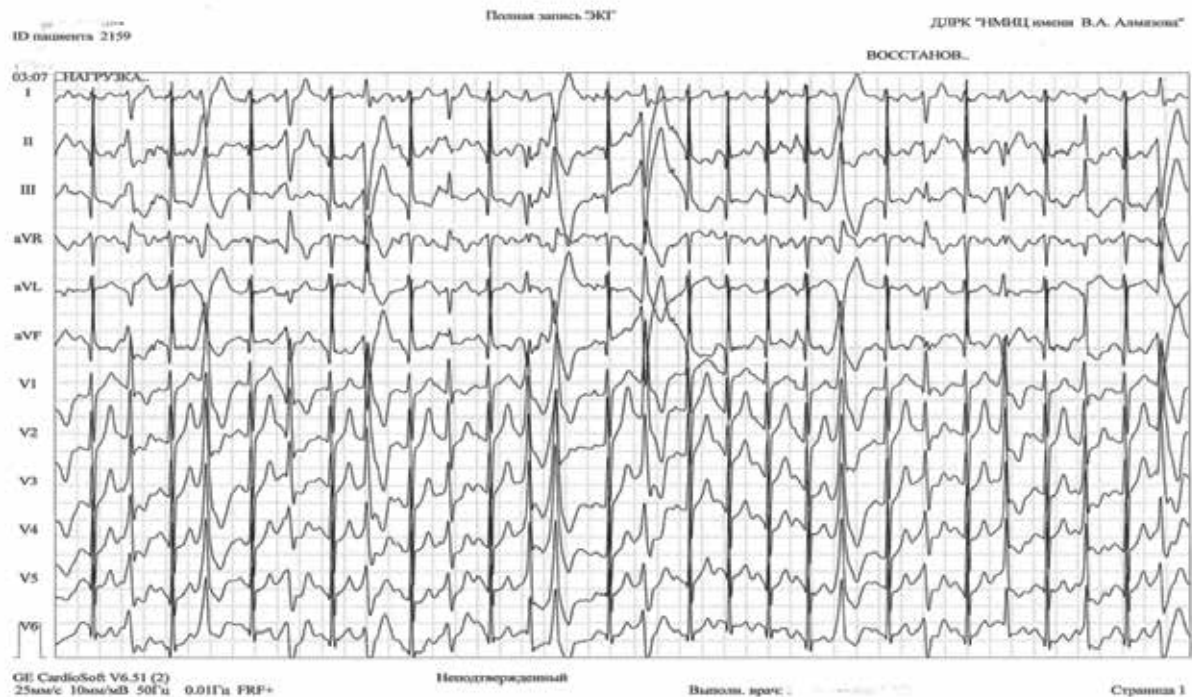


Рис. 2. ЭКГ пациентки Ч. 4 лет: на высоте НП по заявленному способу зарегистрирована полиморфная ЖЭ, аллоритмия по типу бигеминии, парная полиморфная ЖЭ.

ной ЧСС. Не были достигнуты критерии прекращения пробы. На высоте нагрузки регистрировался синусовый ритм, АВ-блокада II степени, с проведением 3:2,4:3, что, вероятно, свидетельствует о дистальном характере АВ-блокады II степени (рис. 1 А). Однако, учитывая, что возникшие нарушения АВ-проводимости при НП не сопровождались клинически значимыми паузами и не была достигнута субмаксимальная ЧСС, результаты тестирования невозможно интерпретировать корректно. Можно лишь предположить дистальный характер АВ-блокады II степени.

На следующий день был проведен тредмил-тест по заявленному протоколу. Плавность увеличения нагрузки позволила достичь одного из критериев завершения теста — заданную ЧСС — 170 уд./мин, что составляет 79,1% от максимальной ЧСС. На высоте нагрузки регистрировался синусовый ритм без признаков нарушения АВ-проведения при ЧСС 140-170 уд./мин (рис. 1 Б).

В результате проведенного исследования было сделано заключение о транзиторном характере АВ-блокады II степени I типа.

Таким образом, выполнение исследования по заявленному протоколу позволило установить характер изменения в АВ-проведении — транзиторная АВ-блокада II степени I типа, что имеет более благоприятный прогноз и существенно меняет тактику ведения.

Клинический пример № 2. В Центр им. Алмазова поступила пациентка Ч. 4 лет, занимающаяся гимнастикой, с диагнозом: Неустойчивая ЖТ. ЖЭ полиморфная. Дисфункция синусового узла. Нарушения ритма были асимптомными. Из анамнеза известно, что синкопе, пресинкопе, случаев внезапной сердечной смерти в семье не было. После тщательного обследования согласно протоколу исследования данных за структурную патологию сердца и экстракардиальные причины аритмий не получено.

Пациентке был выполнен тредмил-тест по протоколу Bruce. Тест был остановлен в связи с усталостью при ЧСС синусового ритма 150 уд./мин, что составляет 69,4% от максимальной ЧСС. Во время теста регистрировались редкие одиночные полиморфные ЖЭ без отчетливой динамики в различные фазы теста. Критерии прекращения пробы не были достигнуты.

На следующий день пациентке была выполнена НП по заявленному протоколу. Проба была остановлена в связи с достижением критериев окончания пробы: ЧСС 175 уд./мин, что составляет 81,0% от максимальной ЧСС и появление на высоте нагрузки эпизода аллоритмии по типу бигеминии, продолжительностью 10 сек, парной полиморфной ЖЭ — увеличение комплексности и риска возникновения потенциально опасных нарушений ритма (рис. 2).

Пациентка была направлена на генетическое обследование, отстранена от занятий физкультурой

и спортом. Ей была назначена антиаритмическая терапия бета-адреноблокатором.

Таким образом, использование заявленного протокола позволило установить характер ЖНР — нагрузочный; определить тактику ведения пациентки: направлена на генетическое обследование, отстранена от занятий ФН и гимнастикой, и подобрать эффективную антиаритмическую терапию и выработать дальнейшую тактику ведения.

Обсуждение

Наше исследование убедительно продемонстрировало преимущества заявленного протокола в диагностике нагрузочных нарушений ритма и проводимости у детей 3-6 лет по сравнению со стандартным протоколом Bruce.

Одна из основных сложностей проведения исследований у детей, особенно, младшего возраста — это объяснить ребенку необходимость его выполнения и пользу непосредственно для него самого. В силу возрастных особенностей большинству детей сложно длительное время быть сконцентрированным на каком-то одном занятии. В результате клинических наблюдений нами было определено, что 2 минуты, в отличие от 3 согласно стандартному протоколу Bruce, — это оптимальное время для маленьких детей для встраивания в нагрузку, за которое они не успевают устать, не отвлекаются, полностью вовлечены в процесс, что определяет возможность выполнения пробы и позволяет достигнуть критериев её прекращения. Выбор угла наклона в 0,0 градусов на первой ступени обоснован тем, что при подъёме и без того шумной движущейся дорожки с первых минут ФН дети испытывают страх, напряженно хватаются за поручни, что ведет к регистрации большого количества артефактов, искажению записи ЭКГ и искажению истинных значений толерантности к ФН. Все это подтверждается результатами сравнительной оценки прироста ЧСС между ступенями. Так, было выявлено, что при использовании заявленного протокола он более плавный, не такой резкий по сравнению с приростом ЧСС при использовании стандартного протокола Bruce. Это объясняет быструю утомляемость пациентов при использовании стандартного протокола Bruce и невозможность достичь критериев окончания пробы, что снижает диагностическую информативность теста.

Данные статистического анализа продемонстрировали достоверно значимое увеличение количества ступеней, проходимых пациентом во время тестирования, и следовательно увеличение толерантности к ФН, достижение критериев прекращения пробы в 100% случаев при использовании заявленного протокола по сравнению со стандартным протоколом Bruce. Все это демонстрирует высокую информативность заявленного протокола и его диагностическую значимость.

Следует отметить, что в результате проведенного исследования был разработан новый критерий прекращения пробы. В существующих рекомендациях одним из критериев прекращения пробы служат появление и/или усугубление потенциально опасных желудочковых аритмий. Тем не менее, нет данных о количественной характеристике таких нарушений ритма. Кроме того, появление единичных ЖЭ на ФН в количестве 25-30 ЖЭ в минуту, в т.ч. аллоритмированных по типу тригеминии, тетрагеминии, не всегда служит показанием к остановке пробы, т.к. при продолжении НП у части пациентов данные нарушения ритма исчезают. В результате клинического наблюдения нами было установлено, что появление аллоритмии по типу бигеминии в течение 10 сек приводит к возникновению потенциально опасных ЖНР и служит критерием прекращения тестирования.

Ограничения исследования. Наше исследование имело ряд ограничений. В первую очередь, это маленькая выборка пациентов. Следует продолжить данную работу с целью получения более достоверных результатов в изучении диагностической информативности заявленного способа у детей 3-6 лет с нарушениями ритма и проводимости без структурной патологии сердца. Кроме того, в исследование были включены пациенты с так называемыми “идиопатическими” нарушениями ритма и проводимости. Однако не всем проводились такие высокотехнологичные методы исследования, как генетическое обследование, магнитно-резонансная томография. Ни одному пациенту не были выполнены эндомиокардиальная биопсия, электрофизиологическое исследование. Это объясняется отсутствием клинической картины гемодинамически значимых нарушений ритма и проводимости, анамнестической связи с инфекцией, отягощенных семейных анамнезов внезапной сердечной смерти и кардиомиопатий, отсутствием паттернов различных наследственно-обусловленных заболеваний сердца по данным 12-канальной ЭКГ, отсутствием патологии по результатам эхокардиографии. При этом следует иметь в виду, что нарушения ритма и проводимости могут быть первым симптомом патологии сердца [14, 15]. Это требует дальнейшего наблюдения за такими пациентами.

Заключение

Таким образом, при диагностике нагрузочных нарушений ритма и проводимости у детей младшего и дошкольного возраста необходимо учитывать ряд их возрастных особенностей при проведении нагрузочного тестирования. Использование заявленного способа позволяет достичь критериев прекращения пробы, тем самым увеличивает его информативность и диагностическую значимость. Кроме того, проведение НП по заявленному протоколу позволяет определить как характер ЖНР, так и оценить характер нарушения АВ-проводимости. Все это приводит

к верной интерпретации результатов теста, что обуславливает в дальнейшем верную тактику ведения и лечения маленьких пациентов.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

- Gibbons RJ, Balady GJ, Beasley JW, et al. ACC/AHA Guidelines for Exercise Testing. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Exercise Testing). J Am Coll Cardiol. 1997;30(1):260-311. doi:10.1016/s0735-1097(97)00150-2.
- Kalinin LA, Kapuschak OV, Shkolnikova MA. Exercise tests in children with cardiac arrhythmias. Pediatrics. 2009;123(5):47-53. (In Russ.) Калинин Л.А., Канышак О.В., Школьников М.А. Нагрузочные пробы у детей с нарушениями сердечного ритма. Педиатрия. 2009;87(5):47-53.
- Massin MM. The role of exercise testing in pediatric cardiology. Arch Cardiovasc Dis. 2014;107(5):319-27. doi:10.1016/j.acvd.2014.04.004.
- Eliseeva OV. Clinical and functional characteristics of children with ventricular arrhythmias depending on the location of the ectopic focus. Journal of Arrhythmology. 2021;4(106):15-23. (In Russ.) Елисеева О.В. Клинико-функциональная характеристика детей с желудочковыми аритмиями в зависимости от локализации эктопического очага. Вестник аритмологии. 2021;4(106):15-23. doi:10.35336/VA-2021-4-15-23.
- Sayfullaeva DV. Heart rate abnormalities in children. Bulletin of emergency medicine. 2017;1:119-25. (In Russ.) Сайфуллаева Д.В. Нарушения ритма сердца у детей. Вестник экстренной медицины. 2017;1:119-25.
- 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(4):2166-79. doi:10.1161/01.cir.90.4.2166.
- Paridon SM, Alpert BS, Boas SR, et al. American Heart Association Council on Cardiovascular Disease in the Young, Committee on Atherosclerosis, Hypertension, and Obesity in Youth. 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(15):1905-20. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.106.174375.
- Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. Am Heart J. 1973;85(4):546-62. doi:10.1016/0002-8703(73)90502-4.
- Cumming GR, Everatt D, Hastman L. Bruce treadmill test in children: normal values in a clinic population. Am J Cardiol. 1978;41(1):69-75. doi:10.1016/0002-9149(78)90134-0.
- Van der Cammen van Zijl MH, Ijsselstein H, Takken T, et al. Exercise testing of pre-school children using the Bruce treadmill protocol: new reference values. Eur J Appl Physiol. 2010;108(2):393-9. doi:10.1007/s00421-009-1236-x.
- Wessel HU, Strasburger JF, Mitchell BM. New standards for the Bruce treadmill protocol in children and adolescent. Pediatric Exercise Science. 2001;13:392-401. doi:10.1123/pes.13.4.392.
- Duff DK, De Souza AM, Human DG, et al. A novel treadmill protocol for exercise testing in children: the British Columbia Children's Hospital protocol. BMJ Open Sport Exerc Med. 2017;3(1):e000197. doi:10.1136/bmjsem-2016-000197.
- Guixeres J, Redon P, Saiz J, et al. Cardiovascular fitness in youth: association with obesity and metabolic abnormalities. Nutr Hosp. 2014;29(6):1290-7. doi:10.3305/nh.2014.29.6.7383.
- Baranov AA, Vasichkina ES, Ildarova RA, et al. Premature Ventricular Contraction in Children. Pediatric pharmacology. 2018;15(6):435-46. (In Russ.) Баранов А.А., Васичкина Е.С., Ильдарова Р.А. и др. Желудочковая экстрасистолия у детей. Педиатрическая фармакология. 2018;15(6):435-46. doi:10.15690/pf.v15i6.1981.
- Kovalev IA, Belozero YuM, Sadykova DI, et al. Atrioventricular Block in children. Pediatric pharmacology. 2018;15(5):365-75. (In Russ.) Ковалев И.А., Белозеров Ю.М., Садыкова Д.И. и др. Атриовентрикулярная (предсердно-желудочковая) блокада у детей. Педиатрическая фармакология. 2018;15(5):365-75. doi:10.15690/pf.v15i5.1959.