

УДК 616-092

Особенности вариабельности ритма сердца у подростков 12–17 лет, перенесших операцию по поводу врожденного порока сердца

Шевалдова О.В.^{1,2}, Лихоманова Е.Н.², Ковалева А.В.², Заварина А.Ю.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии имени А.Н. Бакулева» Министерства здравоохранения Российской Федерации 119049, Москва, Ленинский пр., д. 8

² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий» 125315, Москва, ул. Балтийская, д. 8

Показатели вариабельности ритма сердца (ВРС) являются простыми, неинвазивными, объективными чувствительными индикаторами изменений функционального состояния человека. В ряде исследований отмечается, что дети с врожденными пороками сердца (ВПС), как правило, демонстрируют более низкие показатели общей ВРС по сравнению со здоровыми людьми, что, вероятно, связано с нарушениями в регуляции сердечного ритма, вызванными структурными изменениями в сердце.

Цель. Сравнение показателей ВРС в покое, вычисленных при помощи различных видов анализа ритма сердца, у условно здоровых детей и детей с ВПС в отдаленном послеоперационном периоде.

Материалы и методы. 70 детей от 12 до 17 лет (Me=14). Из них 26 человек (11 девочек) – после радикальной коррекции коарктации аорты в отдаленном послеоперационном периоде, (группа ВПС) и 44 (30 девочек) условно здоровых ребенка (группа: Норма).

Результаты. Выявлены значимо более низкие значения параметров ВРС: SDNN, pNN50, треугольного индекса и суммарной мощности спектра в группе детей с ВПС по сравнению с условно здоровыми детьми. Также в группе детей с ВПС было зарегистрировано значимое увеличение VLF и аппроксимированной энтропии.

Заключение. Сниженная ВРС у детей с ВПС в отдаленном послеоперационном периоде может свидетельствовать о нарушениях вегетативной регуляции сердца, а рост сложности сердечного ритма, по-видимому, отражает необходимость формирования более сложных адаптационных механизмов у таких детей.

Ключевые слова: врожденные пороки сердца; вариабельность ритма сердца; вегетативная регуляция; коарктация.

Для цитирования: Шевалдова О.В., Лихоманова Е.Н., Ковалева А.В., Заварина А.Ю. Особенности вариабельности ритма сердца у подростков 12-17 лет, перенесших операцию по поводу врожденного порока сердца. *Патогенез.* 2024; 22(2): 101-104.

DOI: 10.25557/2310-0435.2024.02.101-104

Для корреспонденции: Шевалдова Ольга Владимировна, e-mail: shevaldova_ov@academpharm.ru

Финансирование. Данное исследование проводится в рамках проекта тематики прикладного научного исследования в интересах медицины и здравоохранения №123020300024-9: «Разработка индивидуальных программ реабилитации у детей после коррекции врожденных пороков сердца на раннем и отдаленном этапах реабилитационного периода (DVNB-2023-0018)», утвержденном в государственном задании по разделу «Наука» на 2023 год.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 07.06.2024.

Heart rate variability parameters in adolescents aged 12-17 years who underwent surgery for congenital heart defects

Shevaldova O.V.^{1,2}, Likhomanova E.N.², Kovaleva A.V.², Zavarina A.Yu.¹

¹ A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery of the Russian Ministry of Health Leninsky Prospekt 8, Moscow 119049, Russian Federation

² Federal Research Center for Innovator and Emerging Biomedical and Pharmaceutical Technologies Baltiyskaya Str. 8, Moscow 125315, Russian Federation

Heart rate variability (HRV) is simple, non-invasive, objective, sensitive indicator of changes in a person's functional state. A number of studies have noted that children with congenital heart defects (CHD) tend to have lower overall HRV scores compared to healthy controls, which is likely due to disturbances in heart rate regulation caused by structural changes in the heart.

Aim. Comparison of HRV indicators at rest, calculated using various types of heart rhythm analysis, in apparently healthy children and children with CHD in the long-term postoperative period.

Materials and methods. Seventy (70) children aged 12 to 17 years (Me=14): children from the first group (n = 26, 11 girls) were after radical correction of aortic coarctation in the late postoperative period; children from the second group (n = 44, 30 girls) were apparently healthy children.

Results. Significantly lower values of HRV parameters were revealed: SDNN, pNN50, triangular index and total spectral power in the group of children with CHD compared to apparently healthy children. Also, in the group of children with CHD, a significant increase in VLF and approximate entropy were recorded.

Conclusion. Reduced HRV in children with congenital heart disease in the late postoperative period may indicate disturbances in the autonomic regulation of the heart, and an increase in the complexity of the heart rhythm apparently reflects the need for the formation of more complex adaptation mechanisms in such children.

Keywords: congenital heart defects; heart rate variability; autonomic regulation; coarctation.

For citation: Shevaldova O.V., Likhomanova E.N., Kovaleva A.V., Zavarina A.Yu. [Heart rate variability parameters in adolescents aged 12-17 years who underwent surgery for congenital heart defects]. *Patogenez [Pathogenesis]*. 2024; 22(2): 101-104. (in Russian)

DOI: 10.25557/2310-0435.2024.02.101-104

For correspondence: Shevaldova Olga Vladimirovna, e-mail: shevaldova_ov@academpharm.ru

Funding. This study is carried out within the framework of the project of applied scientific research in the interests of medicine and healthcare № 123020300024-9: "Development of individual rehabilitation programs for children after correction of congenital heart defects at early and remote stages of the rehabilitation period (DVHB-2023-0018)", approved in the state assignment for the Science section for 2023

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received: 07.06.2024.

Введение

Известно, что показатели variability ритма сердца (BPC) являются простыми, неинвазивными, объективными чувствительными индикаторами изменений функционального состояния человека [1]. В ряде исследований отмечается, что дети с врожденными пороками сердца (BPC), как правило, демонстрируют более низкие показатели общей BPC по сравнению со здоровыми людьми, что, вероятно, связано с нарушениями в регуляции сердечного ритма, вызванными структурными изменениями в сердце [2, 3]. Однако стоит отметить некоторые ограничения описанных в литературе экспериментальных данных. Во-первых, в большинстве исследований в выборку включались дети с пороками различной степени тяжести [4, 5]. Во-вторых, многие авторы включали в исследования только тех детей, которые находились в раннем послеоперационном периоде [5, 6]. В-третьих, зачастую применялся какой-либо один вид анализа ритма сердца (либо частотный, либо временной), и практически не использовался нелинейный метод, что сужает возможности интерпретации получаемых результатов.

Цель: сравнение показателей BPC в покое, вычисленных при помощи различных видов анализа ритма сердца, у условно здоровых детей и детей после радикальной коррекции коарктации аорты (одного из видов BPC) в отдаленном послеоперационном периоде.

Материалы и методы исследования

В исследовании приняло участие 70 детей от 12 до 17 лет ($Me=14$). Из них 26 человек (11 девочек) — после радикальной коррекции коарктации аорты в отдаленном послеоперационном периоде, проходящих реабилитацию в реабилитационном центре для детей с врожденными пороками сердца НМИЦ ССХ им. Бакулева (группа BPC), и 44 (30 девочек) условно здоровых ребенка, учащихся Брянского городского лицея №1 имени А.С. Пушкина (группа: Норма).

На проведение данного исследования от законных представителей пациентов было получено информированное добровольное согласие на оказание реабилитационной специализированной медицинской помощи в условиях стационара, в том числе проведение науч-

ных исследований и публикация полученных результатов в научных изданиях, в соответствии со ст. 20 Федерального закона Российской Федерации от 21 ноября 2011 г. №3223-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации».

Регистрация сердечного ритма осуществлялась в положении сидя в течение трёх минут на АПК «Реакор». Кардиоинтервалы были выделены из сигнала ЭКГ (один канал, электроды устанавливаются на запястья). Затем ряд кардиоинтервалов был проанализирован программой Kubios HRV Standard 3.5.0, на предмет вычисления показателей BPC тремя видами анализа: временным, частотным (спектральным) и нелинейным [7]. Полученные количественные оценки сравнивались у двух групп детей при помощи непараметрического критерия Манна-Уитни для независимых выборок.

Результаты исследования

Сравнительный анализ для двух групп детей был выполнен по всему массиву полученных показателей (более 20), однако статистически значимые различия были выявлены только по некоторым из них (**табл. 1**).

Среди показателей статистического метода анализа значимые различия выявлены по SDNN (стандартное отклонение длительности нормальных RR-интервалов), pNN50 (доля кардиоинтервалов, отличающихся друг от друга более чем на 50 мс), из показателей геометрического метода — по триангулярному индексу. Из показателей частотного метода анализа ритма сердца статистически значимые различия между группами получены по общей мощности спектра (Total power) и по относительной мощности очень низкочастотных волн (very low frequency, VLF). В ряду нелинейных показателей значимые различия получены по значениям аппроксимированной энтропии (ApEn), которые в группе BPC оказались выше, чем у условно здоровых детей (**табл. 1**).

Обсуждение

При развитии коарктации аорты у пациентов наблюдаются врожденные особенности регуляции работы сердечно-сосудистой системы, которые могут сохраняться и после проведенной операции (радикальной коррекции коарктации) [8]. В настоящем исследовании на выбор-

Сравнение статистически значимо различающихся показателей ВРС в группах здоровых детей и детей с ВПС (критерий Манна-Уитни)

Показатель	Группа «Норма»	Группа «ВПС»		Значение критерия и уровень значимости
SDNN, мс	46,38	36,98	↓	$z = -2,49, p = 0,013$
pNN50, %	23,49	15,20	↓	$z = -2,08, p = 0,037$
Триангулярный индекс, усл. ед.	11,21	8,48	↓	$z = -3,03, p = 0,024$
Total Power, мс ²	1947	1286	↓	$z = -2,67, p = 0,007$
VLF, %	3,64	5,64	↑	$z = 2,96, p = 0,003$
ApEn, усл.ед.	0,96	1,01	↑	$z = 2,14, p = 0,030$

Примечание: ↓ – в группе ВПС ниже, чем в группе нормы, ↑ – в группе ВПС выше, чем в группе нормы.

ке подростков 12-17 лет с данной нозологией были получены данные, в целом согласующиеся с предыдущими работами о снижении ВРС у детей разного возраста с различными ВПС. Однако, поскольку при коарктации аорты ни сам патологический процесс, ни хирургическое вмешательство не затрагивают непосредственно сердца, можно предположить, что отмеченные изменения могут быть вызваны снижением адаптационных механизмов как в организме в целом, так и в сердечной ткани в частности. Эти изменения в отдаленном послеоперационном периоде находят отражение в уменьшении показателей общей variability ритма сердца (SDNN, pNN50%, триангулярный индекс, суммарная мощность спектра), при одновременном росте мощности VLF и показателя аппроксимированной энтропии (ApEn).

Интерпретация показателя мощности VLF весьма неоднозначна. Рост его мощности может быть связан с усилением гормональных регуляторных процессов (в частности, ренин-ангиотензин-альдостероновой системы) [9], а также включением так называемых надсегментарных структур (отделов головного мозга) в регуляцию ритма сердца [10]. Все эти механизмы усиливаются при повышенном стрессе и напряженности в организме. Кроме того, рост вклада волн VLF в спектр ритма сердца независимо от механизма их возникновения считается значимым предиктором смертности от самых разных сердечно-сосудистых заболеваний [11].

Интересно также отметить более высокие значения показателя ApEn, который является мерой сложности сердечного ритма, у пациентов с ВПС по сравнению с группой контроля. В работе Бахчиной и Александрова отмечается, что сложность сердечного ритма связана со сложностью формируемого человеком поведения: чем сложнее поведение, тем сложнее будет сердечный ритм, и, следовательно, выше значения ApEn [12]. В случае с детьми из группы ВПС можно предположить, что в результате длительного существования стрессогенного влияния, обусловленного течением болезни и особенностями их образа жизни, индивидуальное развитие приобретает форму увеличения домноспецифичной дифференцированности систем [12], что отражается в повышенных значениях ApEn.

Заключение

Оценка variability сердечного ритма имеет важное диагностическое и прогностическое значение при врожденных пороках сердца, позволяя определить степень напряжения регуляторных систем, реабилитационный потенциал пациента и адаптационные возможности его организма. В нашем исследовании на сравнительно гомогенной выборке детей были выявлены изменения ряда показателей ВРС в виде снижения общей variability и роста индикаторов напряженности регуляторных систем. Сниженная ВРС у детей с ВПС в отдаленном послеоперационном периоде может свидетельствовать о нарушениях вегетативной регуляции сердца в виде снижения тонуса парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, увеличение вклада VLF – о подключении дополнительных (гормональных и центральных) контуров управления, а рост сложности сердечного ритма, по-видимому, отражает необходимость формирования более сложных адаптационных механизмов у таких детей.

Список литературы

1. Голухова Е. З., Алиева А. М., Какучая Т. Т., Воеводина В. М., Аракелян Г. Г., Мрикаев Д. В. *Вариабельность сердечного ритма и методы ее оценки*. Диагностические технологии в кардиологии. Креативная кардиология: Четвертая Международная конференция. Москва, 16–17 апреля 2009 г. Москва, 2009; 1: 76–82.
2. Aletti F., Ferrario M., de Jesus T. B., Stirbulov R., Silva A. B., Cerutti S., Sampaio L. M. Heart rate variability in children with cyanotic and cyanotic congenital heart disease: analysis by spectral and non linear indices. *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* 2012; 2012: 4189–4192. DOI: 10.1109/EMBC.2012.6346890
3. Nederend I., Jongbloed M.R.M., de Geus E.J.C., Blom N.A., Ten Harkel A.D.J. Postnatal Cardiac Autonomic Nervous Control in Pediatric Congenital Heart Disease. *J. Cardiovasc. Dev. Dis.* 2016; 3(2): 16. DOI: 10.3390/jcdd3020016
4. Massin M., von Bernuth G. Clinical and haemodynamic correlates of heart rate variability in children with congenital heart disease. *Eur. J. Pediatr.* 1998; 157(12): 967–971. DOI: 10.1007/s004310050979
5. Özeren M., Lu O.H., Makharoblidze K., Ankaral I.H. Heart rate variability in children with congenital heart disease before and after open heart surgery. *J. Hong Kong College Cardiol.* 2009; 17(2): 3. DOI: 10.55503/2790-6744.1091
6. Ebied N.I., El-Atafy E.A.E.M., El-Shehaby W.A., Zoair A.M. Evaluation of heart rate variability in children with congenital heart diseases before and after surgical repair. *Asian J. Pediatr. Res.* 2022; 1–8. DOI: 10.9734/ajpr/2022/v10i4200

7. Tarvainen M.P., Niskanen J.P., Lipponen J.A., Ranta-Aho P.O., Karjalainen P.A. Kubios HRV –heart rate variability analysis software. *Comput Methods Programs Biomed.* 2014; 113(1): 210–220. DOI: 10.1016/j.cmpb.2013.07.024
8. Заварина А.Ю., Рогова Т.В., Шведунова В.Н., Глушко Л.А., Боос Д.А. Состояние здоровья детей после хирургической коррекции коарктации аорты в аспекте создания программы кардиореабилитации. *Сердечно-сосудистые заболевания. Бюллетень НЦССХ имени А.Н. Бакулева РАМН.* 2022; 23(6): 583–596. DOI: 10.24022/1810-0694-2022-23-6-583-596
9. Bisogni V., Pengo M.F., Maiolino G., Rossi G.P. The sympathetic nervous system and catecholamines metabolism in obstructive sleep apnoea. *J. Thorac. Dis.* 2016; 8(2): 243–254. DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2015.11.14
10. Хаспекова Н. Б. Диагностическая информативность мониторинга вариабельности ритма сердца. *Вестник аритмологии.* 2003; 32: 15–23.
11. Hadase M., Azuma A., Zen K., Asada S., Kawasaki T., Kamitani T., Kawasaki S., Sugihara H., Matsubara H. Very low frequency power of heart rate variability is a powerful predictor of clinical prognosis in patients with congestive heart failure. *Circ. J.* 2004; 68(4): 343–347. DOI: 10.1253/circj.68.343
12. Бахчина А.В., Александров Ю.И. Сложность сердечного ритма при временной системной дедифференциации. *Экспериментальная психология.* 2017; 10(2): 114–130. DOI: 10.17759/exprpsy.2017100210
16. Diatric Congenital Heart Disease. *J. Cardiovasc. Dev. Dis.* 2016; 3(2): 16. DOI: 10.3390/jcdd3020016
4. Massin M., von Bernuth G. Clinical and haemodynamic correlates of heart rate variability in children with congenital heart disease. *Eur. J. Pediatr.* 1998; 157(12): 967–971. DOI: 10.1007/s004310050979
5. Özeren M., Lu O.H., Makharoblidze K., Ankaral I.H. Heart rate variability in children with congenital heart disease before and after open heart surgery. *J. Hong Kong College Cardiol.* 2009; 17(2): 3. DOI: 10.55503/2790-6744.1091
6. Ebied N.I., El-Atafy E.A.E.M., El-Shehaby W.A., Zoair A.M. Evaluation of heart rate variability in children with congenital heart diseases before and after surgical repair. *Asian J. Pediatr. Res.* 2022: 1–8. DOI: 10.9734/ajpr/2022/v10i4200
7. Tarvainen M.P., Niskanen J.P., Lipponen J.A., Ranta-Aho P.O., Karjalainen P.A. Kubios HRV –heart rate variability analysis software. *Comput Methods Programs Biomed.* 2014; 113(1): 210–220. DOI: 10.1016/j.cmpb.2013.07.024
8. Zavarina A.Yu., Rogova T.V., Shvedunova V.N., Glushko L.A., Boos D.A. [The state of children’s health after surgical correction of aortic coarctation in the aspect of creating a cardiorehabilitation program]. *Serdechno-sosudistyye zabolovaniya. Byulleten’ NTSSSKH imeni A.N. Bakuleva RAMN [Cardiovascular diseases. Bulletin of the National Academy of Sciences named after A.N. Bakulev of the Russian Academy of Sciences].* 2022; 23(6): 583–596. DOI: 10.24022/1810-0694-2022-23-6-583-596 (in Russian)
9. Bisogni V., Pengo M.F., Maiolino G., Rossi G.P. The sympathetic nervous system and catecholamines metabolism in obstructive sleep apnoea. *J. Thorac. Dis.* 2016; 8(2): 243–254. DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2015.11.14
10. Haspekova N.B. [Diagnostic informativeness of monitoring heart rate variability]. *Vestnik Aritmologii [Journal of Arrhythmology].* 2003; 32: 15–23. (in Russian)
11. Hadase M., Azuma A., Zen K., Asada S., Kawasaki T., Kamitani T., Kawasaki S., Sugihara H., Matsubara H. Very low frequency power of heart rate variability is a powerful predictor of clinical prognosis in patients with congestive heart failure. *Circ. J.* 2004; 68(4): 343–347. DOI: 10.1253/circj.68.343
12. Bakhchina A.V., Alexandrov Yu.I. [The complexity of the heart rhythm in temporary systemic differentiation]. *Eksperimental’naya psikhologiya [Experimental Psychology].* 2017; 10(2): 114–130. DOI: 10.17759/exprpsy.2017100210 (in Russian)

References

1. Golukhova E. Z., Aliyeva. M., Kakuchaya T. T., Vojvodina. M., Arakelyan G. G., Mrikaev D. V. [Heart rate variability and methods of its assessment. Diagnostic technologies in cardiology. Creative cardiology: Fourth International Conference]. Moscow, April 16–17, 2009. Moscow, 2009; 1: 76–82. (in Russian)
2. Aletti F., Ferrario M., de Jesus T.B., Stirbulov R., Silva A.B., Cerutti S., Sampaio L.M. Heart rate variability in children with cyanotic and acyanotic congenital heart disease: analysis by spectral and non linear indices. *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* 2012; 2012: 4189–4192. DOI: 10.1109/EMBC.2012.6346890
3. Nederend I., Jongbloed M.R.M., de Geus E.J.C., Blom N.A., Ten Harkel A.D.J. Postnatal Cardiac Autonomic Nervous Control in Pe-

Сведения об авторах:

Шевалдова Ольга Владимировна — младший научный сотрудник реабилитационного центра для детей с пороками сердца Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии имени А.Н. Бакулева» Министерства здравоохранения Российской Федерации; младший научный сотрудник лаборатории реабилитационной и спортивной психофизиологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий»; <https://orcid.org/0000-0001-8577-4280>

Лихоманова Елена Николаевна — аспирант, младший научный сотрудник лаборатории реабилитационной и спортивной психофизиологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий»; <https://orcid.org/0000-0002-7639-1576>

Ковалева Анастасия Владимировна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории реабилитационной и спортивной психофизиологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий»; <https://orcid.org/0000-0001-7377-3408>

Заварина Анна Юрьевна — главный врач реабилитационного центра для детей с пороками сердца Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии имени А.Н. Бакулева» Министерства здравоохранения Российской Федерации; <https://orcid.org/0000-0002-3091-9136>