

Л.А. Балькова, М.В. Ширманкина,
С.А. Ивянский, А.В. Краснополяская,
Д.О. Владимиров, Т.С. Шаблинова, Е.Н. Тягушева



Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Саранск, Российская Федерация

Электрическая нестабильность миокарда у детей и подростков

В настоящее время не вызывает сомнения актуальность проблемы электрической нестабильности миокарда в детской кардиологии. Определение различных показателей электрической нестабильности миокарда, являющихся предикторами жизнеугрожающих нарушений ритма и внезапной сердечной смерти, представляет недостаточно разработанную задачу не только для специалистов по функциональной диагностике, но и педиатров, неонатологов, детских кардиологов и врачей других специальностей. Такие неинвазивные методы исследования, как электрокардиография (ЭКГ), холтеровское мониторирование ЭКГ, доступные практически во всех детских лечебно-профилактических учреждениях, довольно информативны в плане выявления электрофизиологической неоднородности миокарда как предиктора внезапной сердечной смерти, что особенно важно у детей из групп риска, а также юных спортсменов. Таким образом, определение показателей электрической нестабильности миокарда представляет большой интерес, является перспективным направлением в современной клинической практике, позволяющим прогнозировать риск развития фатальных аритмий у детей и подростков.

Ключевые слова: электрическая нестабильность миокарда, дети, ЭКГ, QT-интервал, вариабельность ритма

Для цитирования: Балькова Л.А., Ширманкина М.В., Ивянский С.А., Краснополяская А.В., Владимиров Д.О., Шаблинова Т.С., Тягушева Е.Н. Электрическая нестабильность миокарда у детей и подростков. *Вестник РАМН.* 2024;79(1):52–59. doi: <https://doi.org/10.15690/vramn13996>

52

Введение

Проблема электрической нестабильности миокарда (ЭНМ) актуальна не только в современной фундаментальной медицине, но и в клинической практике [1]. Единого общепринятого определения данного понятия не существует до сих пор. С течением времени менялись представления о данном феномене и его значении в практической кардиологии, при этом представители российской кардиологической школы внесли существенный вклад в их развитие [2].

ЭНМ — стереотипная реакция сердца на воздействие различных триггерных факторов, заключающаяся в изменении электрофизиологических свойств миокарда, которая клинически характеризуется различной степенью риска развития нарушений ритма, в том числе фатальных, и в последние десятилетия данный феномен

активно изучается в педиатрии [3, 4]. В основе ЭНМ и жизнеугрожающих аритмий у детей и подростков могут лежать как структурные заболевания сердца (миокардиты, кардиомиопатии, врожденные и приобретенные пороки сердца и др.), так и врожденные или приобретенные нарушения структуры и функции ионных каналов кардиомиоцитов и/или экстракардиальные воздействия (вегетативная дисфункция, электролитный дисбаланс, гипоксия и гипоксемия, лекарственные и токсические воздействия и др.) [5, 6].

Клинико-патофизиологическое значение ЭНМ заключается не только в констатации уже существующих нарушений образования и проведения импульса, но и в прогнозировании риска возникновения жизнеопасных нарушений ритма сердца и внезапной сердечной смерти (ВСС). Для детей и лиц молодого возраста ВСС — довольно редкое явление (около 0,5–2,5 на 100 тыс.

L.A. Balykova, M.V. Shirmankina, S.A. Ivyansky, A.V. Krasnopolskaya,
D.O. Vladimirov, T.S. Shablinova, E.N. Tyagusheva

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russian Federation

Electrical Instability of the Myocardium in Children and Adolescents

Currently, there is no doubt that the problem of electrical instability of the myocardium in pediatric cardiology is relevant. The determination of various indicators of electrical instability of the myocardium, which are predictors of life-threatening rhythm disorders and sudden cardiac death, presents an underdeveloped task not only for functional diagnostics specialists, but also for pediatricians, neonatologists, pediatric cardiologists and doctors of other specialties. Non-invasive research methods such as electrocardiography (ECG), Holter ECG monitoring (HM ECG), available in almost all pediatric treatment and prevention institutions, are quite informative in terms of detecting electrophysiological heterogeneity of the myocardium as a predictor of sudden cardiac death, which is especially important in children at risk, as well as young athletes. Thus, the determination of indicators of electrical instability of the myocardium is of great interest, it is a promising direction in modern clinical practice, allowing to predict the risk of developing fatal arrhythmias in children and adolescents.

Keywords: rhythm disturbances, children, electrocardiography, QT interval, rhythm variability

For citation: Balykova LA, Shirmankina MV, Ivyansky SA, Krasnopolskaya AV, Vladimirov DO, Shablinova TS, Tyagusheva EN. Electrical Instability of the Myocardium in Children and Adolescents. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences.* 2024;79(1):52–59. doi: <https://doi.org/10.15690/vramn13996>

Таблица 1. ЭКГ-маркеры электрической нестабильности миокарда

Нарушение деполяризации	Нарушение реполяризации
Снижение амплитуды QRS	Феномен ранней реполяризации желудочков
Высокий вольтаж комплекса QRS	Трансмуральная дисперсия реполяризации
Фрагментированный QRS	Макро- и микроальтернация зубца Т
Поздние потенциалы желудочков	Укорочение интервала QT и QTc
Пространственный угол между векторами QRS и Т (QRS-T)	Удлинение интервала QT и QTc
Бругада-паттерн I типа	Дисперсии интервала QT (QTd)
Эпсилон-волна	QT-динамика
Патологический зубец Q	
Блокада левой ножки пучка Гиса	
Нарушение функции автономной нервной системы	
Турбулентность сердечного ритма	
Вариабельность сердечного ритма	

человеко-лет), при этом у детей имеются два возрастных пика распространенности — возраст до 1 года и подростковый период [7, 8]. По данным главного детского кардиолога ФМБА России профессора Л.М. Макарова, в Российской Федерации на 100 тыс. учеников ежегодно приходится 1,4 внезапной смерти, что сопоставимо с частотой остановок сердца и ВСС в школах Европы и Америки (в среднем — 1,1 на 100 тыс. обучающихся в год, из которых почти половина была подвергнута успешной реанимации) [9, 10].

М. Askerman et al. считают, что стратегия профилактики ВСС у детей и лиц молодого возраста должна включать не только доступность сердечно-легочной реанимации (в том числе автоматических наружных дефибрилляторов как основной меры помощи) и идентификацию пациентов высокого риска (с кардиомиопатиями и каналопатиями, врожденными пороками сердца и первичной легочной гипертензией, с семейной историей ВСС и/или признаками ЭНМ, а также профессиональных атлетов), но и программы массового кардиоваскулярного скрининга [11], которые, помимо сбора анамнеза и физического обследования, должны включать, как минимум, стандартную ЭКГ. В настоящее время известны различные ЭКГ-маркеры ЭНМ, обсуждаемые как предикторы ВСС, которые включают нарушения де- и реполяризации, однако ни один из них не обладает 100%-й чувствительностью и специфичностью [12]. Для выявления ЭНМ могут также использоваться холтеровское мониторирование ЭКГ, электрофизиологическое исследование сердца, ЭКГ высокого разрешения (в том числе сигнал-усредненная ЭКГ) и дисперсионное картирование [13, 14]. Однако далеко не для всех маркеров ЭНМ приняты международные консенсусы по стандартам измерения и клинической интерпретации. Более того, в педиатрической практике общепринятые нормативы показателей ЭНМ отсутствуют, что обосновывает актуальность обзора данных современной литературы по рассматриваемой проблеме [15].

До настоящего времени нет общепринятой классификации ЭНМ, однако ЭКГ-маркеры электрофизиологической неоднородности миокарда можно условно подразделить на изменения процессов реполяризации, процессов деполяризации и изменения функции автономной нервной системы (табл. 1).

Поиск литературных источников для настоящего обзора проводили в базах данных PubMed, Google Scholar, UpToDate, MEDLINE. Ключевыми словами для поиска были: «myocardial electrical instability», «T-wave alternance», «QT interval», «QT dispersion», «heart rate variability», «arrhythmic risk».

Нарушения деполяризации

Снижение амплитуды QRS (рис. 1), по данным исследования М. Merlo et al., связано с тяжелыми исходами у пациентов с дилатационной кардиомиопатией (ДКМП). Так, снижение амплитуды зубца S в отведении V2 ($p < 0,01$) и зубца R в отведении III ($p < 0,01$) было связано с миокардиальным фиброзом и являлось предиктором ВСС и жизнеугрожающих нарушений ритма [16]. С другой стороны, *высокий вольтаж комплекса QRS* и высокие показатели индекса Соколова–Лайона (отражающие выраженность гипертрофии миокарда левого желудочка) связаны с более высокой смертностью при гипертрофической кардиомиопатии (ГКМП) у детей [17].

К числу ЭКГ-предикторов ЭНМ относится также *продолжительность QRS*, увеличение которой на каждые 27 мс сопровождается повышением риска ВСС на 27% [18]. Эти данные были недавно подтверждены в крупном популяционном исследовании, где было показано,



Рис. 1. Снижение амплитуды QRS у ребенка с миокардитом

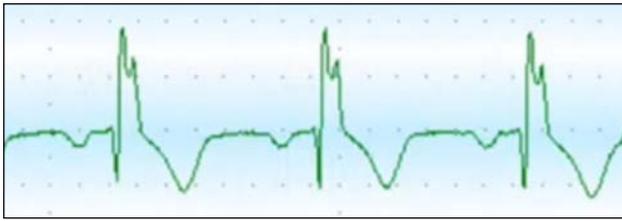


Рис. 2. Фрагментированный QRS (fQRS)

что уширение QRS ассоциировалось с ВСС даже с большей статистической значимостью по сравнению с интервалами QTc и JTc [19].

У педиатрических пациентов также был продемонстрирован риск развития тяжелых желудочковых аритмий при уширении комплекса QRS при ДКМП, тетраде Фалло и других врожденных пороках сердца [20, 21].

Еще одним важным ЭКГ-феноменом является *фрагментированный QRS (fQRS)* (рис. 2), отражающий замедленное или беспорядочное проведение импульса вокруг очагов фиброза, аневризм или очагов локального нарушения сократимости левого желудочка. Фрагментированный QRS является предиктором тяжелых нарушений ритма и ВСС в общей популяции, а также фатальных аритмических событий и сердечной недостаточности у пациентов с кардиомиопатиями [22, 23]. Так, в исследовании Y. Kong et al. в группе детей с ДКМП с fQRS фракция выброса левого желудочка была ниже, а частота встречаемости нарушений ритма — выше (36,0 против 7,9%; $p < 0,01$), чем в группе детей с ДКМП без fQRS [24]. Кроме того, fQRS играет важную роль в качестве диагностического и прогностического инструмента у детей с каналопатиями и органическими болезнями сердца, в частности с миокардитами [25].

К ЭКГ-маркерам ЭНМ относится также *пространственный угол между векторами QRS и T (QRS-T)*, отражающий гетерогенность периода перехода от фазы деполяризации к фазе реполяризации. В отсутствие патологических изменений в миокарде угол QRS-T находится в пределах $0-60^\circ$, а его значение более 105° является маркером желудочковых тахикардий, смертности от сердечно-сосудистых заболеваний и ВСС [26]. У детей с кардиомиопатиями угол QRS-T $> 120^\circ$, наряду с повышенными уровнями биохимических маркеров повреждения миокарда и более высокой степенью сердечной недостаточности, ассоциировался с риском неблагоприятных исходов [27].

Поздние потенциалы желудочков представляют собой высокочастотные потенциалы низкой амплитуды, возникающие в конечном отделе комплекса QRS или сегмента ST, отражающие ЭНМ. В основе данного электрофизиологического феномена лежит механизм micro re-entry в участках с локальной задержкой проведения возбуждения (зона ишемии миокарда, местные нарушения электролитного баланса, повышения активности симпатoadrenalовой и ренин-ангиотензин-альдостероновой систем). Предложены следующие критерии диагностики поздних потенциалов желудочков при использовании частотного фильтра 40–250 Гц: Tot QRSF ≥ 90 мс; LAS40 ≥ 32 мс; RMS40 ≤ 31 мкВ [28]. Исследования по оценке поздних потенциалов желудочков у детей единичны и в большинстве случаев базируются на их регистрации методом холтеровского мониторирования [29].

R. Zou et al. показано, что у детей с вазовагальным обмороком поздние потенциалы желудочков могут быть маркерами аритмогенного риска [30]. Поздние потенци-



Рис. 3. Эпсилон-волна

алы чаще наблюдались у детей с пролапсом митрального клапана, чем у здоровых ($p < 0,0001$), а также у детей с пролапсом, страдающих желудочковыми аритмиями, по сравнению с детьми без аритмий ($p < 0,02$). Чувствительность поздних потенциалов желудочков для определения аритмического риска была низкой (52%), но специфичность — высокой (90%) [31].

Эпсилон-волна (рис. 3) — положительное отклонение низкой амплитуды в конце комплекса QRS в отведениях V1–V4, служит проявлением поздней деполяризации стенки миокарда правого желудочка (способной вызывать желудочковые аритмии по типу re-entry) вследствие фиброзно-жировой инфильтрации и рассматривается как критерий диагностики аритмогенной кардиомиопатии (дисплазии) правого желудочка. Однако в последнее время ее абсолютная диагностическая ценность была поставлена под сомнение [32].

Нарушения реполяризации

Феномен ранней реполяризации (рис. 4) на ЭКГ характеризуется элевацией J-волны $\geq 0,1$ мВ (в точке J_r) и наличием зазубрины/волны соединения на нисходящей части зубца R более чем в двух отведениях (исключая V1–V3), где продолжительность QRS составляет < 120 мс. Распространенность и прогностическое значение феномена ранней реполяризации у детей и подростков четко не определены, хотя большинство ученых считают, что это доброкачественное явление [29]. У взрослых обсуждается возможная связь ранней реполяризации с идиопатической фибрилляцией желудочков и повышением риска ВСС [33].

В качестве маркера ЭНМ рассматривается *интервал от пика зубца T до его окончания (Tp-Te)*, связанный с трансмуральной дисперсией реполяризации (вследствие разной продолжительности потенциала действия клеток эпи- и эндокарда) и риском развития жизнеугрожающих аритмий. Так, в исследовании M. Türe et al. удлинение Tp-Te-ма и увеличение отношения Tp-Te/QT были свя-



Рис. 4. Феномен ранней реполяризации желудочков у здорового подростка

заны с повышенным риском развития летального исхода у детей с ДКМП [34]. В то время как в другом большом проспективном исследовании у взрослых связи между удлинением интервала Тр–Те и риском развития ВСС не выявлено ($p = 0,231$) [35].

Альтернация зубца Т (Twa) — это изменение морфологии (формы, амплитуды и полярности) зубца Т в нескольких последовательных кардиоциклах в одном отведении. При холтеровском мониторинге у трети здоровых детей и подростков встречаются преходящие изменения зубца Т. В основе феномена Twa лежат изменения в регуляции уровня внутриклеточного кальция и его взаимодействия с поздним калиевым током, что приводит к изменению продолжительности потенциала действия и может предрасполагать к развитию желудочковых аритмий [36].

М.Е. Alexander et al. исследовали альтернацию Twa у 304 детей с различными заболеваниями сердечно-сосудистой системы при проведении тредмил-теста, при этом значительная Twa была зарегистрирована у 24 (7%) пациентов, в том числе у 19 пациентов с высоким риском осложнений [37]. В исследовании Л.М. Макарова и др. представлены результаты обследования 68 здоровых детей и 85 детей с сердечно-сосудистой патологией, при этом значения Twa у 94% здоровых детей не превышали 55 мкВ, а у 20–50% детей с кардиальной патологией значения Twa превышали 55 мкВ [38].

Микроальтернация — почти незаметное изменение амплитуды зубца Т интенсивностью до одной миллионной доли вольта. Особенностью анализа микровольтовой альтернации зубца Т является ее оценка преимущественно в ходе нагрузочных проб, в условиях фармакологического стресс-тестов или электрокардиостимуляции. Финское сердечно-сосудистое исследование (FINCAVAS) включало 3600 пациентов с сохранной функцией левого желудочка, которые были направлены на рутинное тестирование с физической нагрузкой и проанализированы на предмет Twa. Результаты показали, что микровольтовая Twa связана с увеличением сердечно-сосудистой смертности и частоты ВСС. Более высокие значения Twa указывали на больший риск [39].

Согласно метаанализу при проведении амбулаторной ЭКГ, группа с положительным Twa имела более чем 7-кратный риск ВСС [40]. А у пациентов с врожденным синдромом удлиненного интервала QT микровольтовая Twa ассоциировалась с риском желудочковой тахикардии torsado de pointes (TdP) [6].

Интервал QT представляет собой время между началом деполяризации желудочков и окончанием реполяризации. Интервал QT, его дисперсию, а также производные — скорректированные по частоте сердечных сокращений интервалы QT и JT (соответственно QTc и JТс) считают самыми широко известными маркерами ЭНМ, удлинение которых ассоциируется с повышенным риском развития фатальных аритмических событий, в частности желудочковой тахикардии TdP, фибрилляции желудочков и ВСС [41]. Длительность интервала QT индексируют к частоте сердечных сокращений с помощью различных формул, из которых наиболее надежна и широко используется: $Basett \times QTc = QT/RR^{1/2}$, а продолжительность интервала QTc более 440 мс на стандартной ЭКГ является нефизиологической в любом возрасте и требует исключения врожденного или приобретенного синдрома удлиненного интервала QT (рис. 5) [42].

У спортсменов продолжительность интервала QT выше, чем у нетренированных. При обследовании

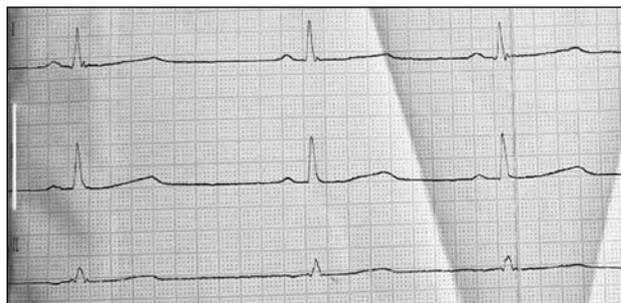


Рис. 5. ЭКГ ребенка с удлинением интервала QTc (QTc 469 мс)

2000 элитных молодых атлетов S. Basavarajiah et al. выявили удлинение интервала QT выше 460 мс в 0,35% случаев и интервала QTc свыше 500 мс — у 0,15% спортсменов. При этом только у одного атлета была выявлена мутация в гене *KCNQ1*, отвечающем за развитие синдрома удлиненного интервала QT. Авторы рекомендуют исключать наследственный синдром удлиненного интервала QT у спортсменов, имеющих интервал QTc более 500 мс [43]. Американские специалисты рекомендуют проводить дополнительные обследования при удлинении интервала QT у спортсменов более 470 мс у мужчин и более 480 — у женщин, тогда как европейские рекомендации в данном случае более осторожны: интервал QTc у мужчин не должен превышать 440 мс, а у женщин — 460 мс [44].

В совместном со специалистами Центра синкопальных состояний и сердечных аритмий ФМБА исследовании нами показано, что в ранний период ортостаза происходит укорочение интервала QT и удлинение QTc, при продолжительности которого более 500 мс высоковероятным является диагноз врожденного синдрома удлиненного интервала QT (чувствительность — 73%; специфичность — 93%) [45].

Нормы реакции интервала QT и некоторых его производных на физическую нагрузку, к сожалению, не разработаны. В наших наблюдениях на здоровых подростках 11–15 лет максимальная продолжительность интервала QTc регистрировалась на первой ступени велоэргометрии и не превышала 450 мс у мальчиков и 460 мс у девочек, а в периоде раннего восстановления возвращалась к исходному уровню (не более 450 мс) [46].

Увеличение *дисперсии интервала QT* (QTd) — разницы между максимальным и минимальным интервалом QT — продемонстрировано при различных сердечно-сосудистых заболеваниях. Так, увеличение QTd отмечается при сердечной недостаточности, гипертрофии левого желудочка, артериальной гипертензии и имеет прогностическое значение у пациентов с сердечной недостаточностью и инфарктом миокарда с риском жизнеугрожающих аритмий [47].

В исследовании The Strong Heart Study прогностическое значение дисперсии QTc было оценено у 1839 пациентов, наблюдаемых в течение $3,7 \pm 0,9$ года. При этом смертность от сердечно-сосудистых заболеваний увеличивалась на 34% на каждые 17 мс увеличения дисперсии QTc. В многомерном анализе дисперсия QTc > 58 мс (95-й перцентиль в популяции здоровых людей) была связана с 3,2-кратным увеличением риска сердечно-сосудистой смертности (95%-й ДИ: 1,8–5,7) [48].

В одноцентровом ретроспективном исследовании S. Chen et al. ($n = 137$) было показано, что у детей с ДКМП и жизнеугрожающими желудочковыми нарушениями ритма имели более значительное удлинение QTc

(488 ± 96 против 453 ± 52 мс; $p < 0,05$) и дисперсии интервала QT ($p < 0,05$) [49]. Однако в другом исследовании, включающем взрослых пациентов с ДКМП, QTd не имел особого значения для стратификации кардиального риска [50], поэтому роль QTd как предиктора неблагоприятных сердечно-сосудистых событий у пациентов с различной сердечно-сосудистой патологией требует дальнейшего изучения. Вероятно, только сильно аномальные значения (> 100 мс) потенциально могут иметь практическое значение [51].

Одним из новых показателей для оценки электрической нестабильности миокарда является метод, называемый «QT-динамика», который оценивает адаптацию интервала QT к частоте сердечных сокращений в ходе холтеровского мониторирования. Метод использует вычисление трех параметров: коэффициента корреляции (r), коэффициента линейной регрессии aX (отражающего скорость укорочения интервала QT на тахикардии и удлинения на брадикардии) и коэффициента сдвига (Intercept QT/RR) [52]. В исследовании, проведенном L. Makarov et al., показано значительное снижение корреляции QT/RR в 1-й день после рождения с нормализацией к 3–4-му дню и возрастание на этом фоне slope QT/RR, что указывает на наличие ЭНМ новорожденного на фоне адаптации к новым условиям существования [53].

Одним из методов оценки ЭНС выступает *турбулентность ритма сердца*, проявляющаяся в виде краткосрочных изменений продолжительности сердечного цикла (первоначально — укорочением, а затем — восстановлением до исходных значений) после желудочковой экстрасистолы. Патологическая турбулентность ритма сердца свидетельствует о нарушении барорецепторного контроля и имеет высокую прогностическую значимость. В.А. Макаровой и И.В. Леонтьевой установлено, что патологические значения турбулентности ритма сердца у детей с ГКМП ассоциировались с наличием «больших» факторов риска ВСС (синкопе, неустойчивая желудочковая тахикардия и др.). Авторы предположили, что турбулентность ритма сердца может быть дополнительным предиктором неблагоприятного прогноза ГКМП у детей [54].

Вариабельность сердечного ритма (ВСР) — метод, позволяющий количественно оценить влияние вегетативной нервной системы на работу сердца. Известно, что высокие уровни ВСР в целом свидетельствуют о достаточном уровне парасимпатического контроля, которые характерны для здорового человека, а низкие — о вегетативной дисфункции вследствие гиперсимпатикотонии и/или уменьшения влияния *n.Vagus*. За последнее десятилетие было опубликовано много работ, констатирующих нарушение ВСР при различной сердечно-сосудистой патологии [55]. В метаанализе S. Hillebrand et al. было показано, что у пациентов с низкой ВСР риск сердечно-сосудистых заболеваний на 32–45% выше, чем у лиц с высокой ВСР. Более того, авторами продемонстрировано, что низкая ВСР связана с развитием сердечно-сосудистых болезней у ранее здоровых лиц [56].

В современных серийных системах холтеровского мониторирования выделяют два основных вида анализа ВРС — временной (Time Domain) и спектральный (Frequency Domain). Интерпретация параметров ВРС у детей имеет свои особенности. Во время роста ребенка ВСР постепенно возрастает. Исследования показали, что большинство показателей ВСР (индексы $iR-R$, $SDNN$, $RMSSD$ и HF) у новорожденных и детей раннего

возраста находятся на самом низком уровне и с возрастом постепенно повышаются [57].

Кроме того, доказано, что наличие ожирения (низкой физической активности и/или метаболических нарушений) связано с более низкой ВСР, а регулярные физические упражнения и активный образ жизни — напротив, с повышением ВСР у подростков независимо от их состояния питания [58].

N. Ling et al. установили, что у детей с вирусным миокардитом имеет место снижение variability сердечного ритма, но оно особенно выражено у пациентов с желудочковыми аритмиями по отношению как к контрольной группе, так и к больным миокардитом без нарушений ритма [59]. У 53 подростков и молодых взрослых с ГКМП и известными маркерами риска ВСС было обнаружено снижение временных и спектральных показателей ВСР и увеличение соотношения LF/HF , свидетельствующее о повышенной симпатической активности с ВСС. Однако в ходе многофакторного логистического регрессионного анализа в данной когорте авторам не удалось доказать значение ВСР как независимого предиктора неблагоприятного исхода [60].

Для комплексного определения ЭНМ предложен модифицированный метод оценки «электрической добротности сердца», который может быть использован для оценки состояния сердечно-сосудистой системы независимо от возраста и пола.

Рассчитывается показатель как отношение

$$(aR/aT) : (QT/QRS),$$

где aR и aT — амплитуда зубцов R и T; QT — интервал QT; QRS — комплекс QRS.

Снижение показателя может свидетельствовать о повышенной электрической нестабильности миокарда [61].

Заключение

В настоящее время проблема определения электрической нестабильности миокарда не потеряла свою актуальность в клинической практике. Оценка данного показателя не только играет роль предиктора жизнеугрожающих аритмий, ВСС, но и является важным аспектом в стратификации риска пациентов с патологией сердечно-сосудистой системы.

Дополнительная информация

Источник финансирования. Рукопись подготовлена и опубликована за счет финансирования по месту работы авторов.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Участие авторов. Л.А. Балыкова — идея и концепция обзора, написание текста, сбор источников, редактирование; М.В. Ширманкина — написание текста, сбор источников; С.А. Ивянский — написание текста, сбор источников; А.В. Краснополянская — написание текста, сбор источников; Д.О. Владимиров — написание текста, сбор источников; Т.С. Паршина — написание текста, сбор источников; Е.Н. Тягушева — написание текста, сбор источников. Все авторы статьи внесли существенный вклад в организацию и проведение исследования, прочли и одобрили окончательную версию рукописи перед публикацией.

ЛИТЕРАТУРА

- Münkler P, Klatt N, Scherschel K, et al. Repolarization indicates electrical instability in ventricular arrhythmia originating from papillary muscle. *Europace*. 2023;25(2):688–697. doi: <https://doi.org/10.1093/europace/euac126>
- Vorobiev AP, Vaykhanskaya TG, Melnikova OP, et al. Digital Electrocardiographic System for Assessing Myocardial Electrical Instability: Principles and Applications. *Sovrem Tekhnologii Med*. 2021;12(6):15–19. doi: <https://doi.org/10.17691/stm2020.12.6.02>
- Karpuz D, Hallıoğlu O, Yılmaz DÇ. Increased microvolt T-wave alternans in children and adolescents with Eisenmenger syndrome. *Anatol J Cardiol*. 2018;19(5):303–310. doi: <https://doi.org/10.14744/AnatolJCardiol.2018.60487>
- Moghadam EA, Hamzehlou L, Moazzami B, et al. Increased QT Interval Dispersion is Associated with Coronary Artery Involvement in Children with Kawasaki Disease. *Oman Med J*. 2020;35(1):e88. doi: <https://doi.org/10.5001/omj.2020.06>
- Линяева В.В., Леонтьева И.В., Павлов В.И., и др. Биохимические и электрофизиологические маркеры электрической нестабильности миокарда у детей с гипертрофической кардиомиопатией // *Педиатрия им. Г.Н. Сперанского*. — 2015. — Т. 94. — № 2. [Linyayeva V.V., Leonteva IV, Pavlov VI, et al. Biochemical and electrophysiological markers of myocardial instability in children with hypertrophic cardiomyopathy. *Pediatrics n.a. G.N. Speransky*. 2015;94(2). (In Russ.)]
- Takasugi N, Goto H, Takasugi M, et al. Prevalence of Microvolt T-Wave Alternans in Patients with Long QT Syndrome and Its Association with Torsade de Pointes. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2016;9(2):e003206. doi: <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.115.003206>
- Bagnall RD, Weintraub RG, Ingles J, et al. A Prospective Study of Sudden Cardiac Death among Children and Young Adults. *N Engl J Med*. 2016;374(25):2441–2452. doi: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1510687>
- Winkel BG, Risgaard B, Sadjadieh G, et al. Sudden cardiac death in children (1–18 years): symptoms and causes of death in a nationwide setting. *Eur Heart J*. 2014;35(13):868–875. doi: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehf509>
- Макаров Л.Н., Комолятова В.Н., Киселева И.И., и др. Остановки сердца и внезапная смерть детей в школах // *Педиатрия им. Г.Н. Сперанского*. — 2018. — Т. 97. — № 6. — С. 180–186. [Makarov LM, Kiseleva II, Komolyatova VN, et al. Cardiac arrests and sudden death of children in schools. *Pediatrics n.a. G.N. Speransky*. 2018;97(6):180–186. (In Russ.)]
- Monda E, Lioncino M, Rubino M, et al. The Risk of Sudden Unexpected Cardiac Death in Children: Epidemiology, Clinical Causes, and Prevention. *Heart Fail Clin*. 2022;18(1):115–123. doi: <https://doi.org/10.1016/j.hfc.2021.07.002>
- Ackerman M, Atkins DL, Triedman JK. Sudden Cardiac Death in the Young. *Circulation*. 2016;133(10):1006–1026. doi: <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.020254>
- Chugh SS. Einthoven and electrical risk: Value of the electrocardiogram to predict sudden cardiac death. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2018;29(1):61–63. doi: <https://doi.org/10.1111/jce.13360>
- Hassanzadeh M, Mardani E, Hosseinpour A, et al. Signal averaged ECG in patients with early repolarization. *J Arrhythm*. 2021;37(2):432–437. doi: <https://doi.org/10.1002/joa3.12523>
- Duca ŞT, Roca M, Costache AD, et al. T-Wave Analysis on the 24 h Holter ECG Monitoring as a Predictive Assessment of Major Adverse Cardiovascular Events in Patients with Myocardial Infarction: A Literature Review and Future Perspectives. *Life (Basel)*. 2023;13(5):1155. doi: <https://doi.org/10.3390/life13051155>
- Verrier RL, Klinghenben T, Malik M, et al. Microvolt T-wave alternans physiological basis, methods of measurement, and clinical utility — consensus guideline by International Society for Holter and Noninvasive Electrocardiology. *J Am Coll Cardiol*. 2011;58(13):1309–1324. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.06.029>
- Merlo M, Pivetta A, Pinamonti B, et al. Long-term prognostic impact of therapeutic strategies in patients with idiopathic dilated cardiomyopathy: changing mortality over the last 30 years. *Eur J Heart Fail*. 2014;16(3):317–324. doi: <https://doi.org/10.1002/ejhf.16>
- Östman-Smith I. What Aspects of Phenotype Determine Risk for Sudden Cardiac Death in Pediatric Hypertrophic Cardiomyopathy? *J Cardiovasc Dev Dis*. 2022;9(5):124. doi: <https://doi.org/10.3390/jcdd9050124>
- Kurl S, Makikallio TH, Rautaharju P, et al. Duration of QRS complex in resting electrocardiogram is a predictor of sudden cardiac death in men. *Circulation*. 2012;125(21):2588–2594. doi: <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.111.025577>
- Tikkanen JT, Kentta T, Porthan K, et al. Risk of sudden cardiac death associated with QRS, QTc, and JTc intervals in the general population. *Heart Rhythm*. 2022;19(8):1297–1303. doi: <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2022.04.016>
- Dao DT, Hollander SA, Rosenthal DN, et al. QRS prolongation is strongly associated with life-threatening ventricular arrhythmias in children with dilated cardiomyopathy. *J Heart Lung Transplant*. 2013;32(10):1013–1019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.healun.2013.06.007>
- Bassareo PP, Mercurio G. QRS Complex Enlargement as a Predictor of Ventricular Arrhythmias in Patients Affected by Surgically Treated Tetralogy of Fallot: A Comprehensive Literature Review and Historical Overview. *ISRN Cardiol*. 2013;2013:782508. doi: <https://doi.org/10.1155/2013/782508>
- Toukola T, Junttila MJ, Holmström LTA, et al. Fragmented QRS complex as a predictor of exercise-related sudden cardiac death. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2018;29(1):55–60. doi: <https://doi.org/10.1111/jce.13341>
- Zhao L, Lu J, Cui ZM, et al. Changes in left ventricular synchrony and systolic function in dilated cardiomyopathy patients with fragmented QRS complexes. *Europace*. 2015;17(11):1712–1719. doi: <https://doi.org/10.1093/europace/euu408>
- Kong Y, Song J, Kang IS, et al. Clinical Implications of Fragmented QRS Complex as an Outcome Predictor in Children with Idiopathic Dilated Cardiomyopathy. *Pediatr Cardiol*. 2021;42(2):255–263. doi: <https://doi.org/10.1007/s00246-020-02473-1>
- Ferrero P, Piazza I. QRS fragmentation in children with suspected myocarditis: a possible additional diagnostic sign. *Cardiol Young*. 2020;30(7):962–966. doi: <https://doi.org/10.1017/S1047951120001262>
- Kardys I, Kors JA, van der Meer IM, et al. Spatial QRS-T angle predicts cardiac death in a general population. *Eur Heart J*. 2003;24(14):1357–1364. doi: [https://doi.org/10.1016/s0195-668x\(03\)00203-3](https://doi.org/10.1016/s0195-668x(03)00203-3)
- Luczak-Wozniak K, Obszajczyk K, Niszczota C, et al. Electrocardiographic Parameters Associated with Adverse Outcomes in Children with Cardiomyopathies. *J Clin Med*. 2022;11(23):6930. doi: <https://doi.org/10.3390/jcm11236930>
- Богатырева М.М.-Б. Поздние потенциалы желудочков: значимость в клинической практике // *Международный журнал сердца и сосудистых заболеваний*. — 2018. — Т. 6. — № 20. — С. 4–14. [Bogat'yeva MM-B. Pozdnie potentsialy' zheludochkov: znachimost' v klinicheskoy praktike. *Mezhdunarodny' zhurnal serdca i sosudisty'x zabolovanij*. 2018;6(20):4–14. (In Russ.)]
- Макаров Л.М. *Холтеровское мониторирование*. — 4-е изд. — М.: Медпрактика-М, 2017. — 502 с. [Makarov LM. *Kholterovskoe monitorirovanie*. 4-e izd. Moscow: Medpraktika-M; 2017. 502 p. (In Russ.)]
- Zou R, Li Y, Wu L, et al. The ventricular late potentials in children with vasodepressor response of vasovagal syncope. *Int J Cardiol*. 2016;220:414–416. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.06.230>

31. Bobkowski W, Siwińska A, Zachwieja J, et al. A prospective study to determine the significance of ventricular late potentials in children with mitral valvar prolapse. *Cardiol Young*. 2002;12(4):333–338. doi: <https://doi.org/10.1017/s1047951100012920>
32. Corrado D, Zorzi A, Cipriani A, et al. Evolving diagnostic criteria for arrhythmogenic cardiomyopathy. *J Am Heart Assoc*. 2021;10(18):e021987. doi: <https://doi.org/10.1161/JAHA.121.021987>
33. Mellor G, Nelson CP, Robb C, et al. The Prevalence and Significance of the Early Repolarization Pattern in Sudden Arrhythmic Death Syndrome Families. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2016;9(6):e003960. doi: <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.116.003960>
34. Türe M, Balık H, Akin A, et al. The relationship between electrocardiographic data and mortality in children diagnosed with dilated cardiomyopathy. *Eur J Pediatr*. 2020;179(5):813–819. doi: <https://doi.org/10.1007/s00431-020-03569-9>
35. Porthan K, Viitasalo M, Toivonen L, et al. Predictive value of electrocardiographic T-wave morphology parameters and T-wave peak to T-wave end interval for sudden cardiac death in the general population. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2013;6(4):690–696. doi: <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.113.000356>
36. Aro AL, Kenttä TV, Huikuri HV. Microvolt T-wave Alternans: Where Are We Now? *Arrhythm Electrophysiol Rev*. 2016;5(1):37–40. doi: <https://doi.org/10.15420/aer.2015.28.1>
37. Alexander ME, Cecchin F, Huang KP, et al. Microvolt t-wave alternans with exercise in pediatrics and congenital heart disease: limitations and predictive value. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2006;29(7):733–741. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2006.00427.x>
38. Makarov L, Komoliatova V. Microvolt T-wave alternans during Holter monitoring in children and adolescents. *Ann Noninvasive Electrocardiol*. 2010;15(2):138–144. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1542-474X.2010.00354.x>
39. Nieminen T, Lehtimäki T, Viik J, et al. T-wave alternans predicts mortality in a population undergoing a clinically indicated exercise test. *Eur Heart J*. 2007;28(19):2332–2337. doi: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehm271>
40. Quan XQ, Zhou HL, Ruan L, et al. Ability of ambulatory ECG-based T-wave alternans to modify risk assessment of cardiac events: A systematic review. *BMC Cardiovasc Disord*. 2014;4:198. doi: <https://doi.org/10.1186/1471-2261-14-198>
41. Vandael E, Vandenberghe B, Vandenberghe J, et al. Risk factors for QTc-prolongation: systematic review of the evidence. *Int J Clin Pharm*. 2017;39(1):16–25. doi: <https://doi.org/10.1007/s11096-016-0414-2>
42. Макаров Л.М. ЭКГ в педиатрии. — 3-е изд. — М.: Медпрактика-М, 2013. — 695 с. [Makarov LM. *EKG v pediatrii*. 3-e izd. Moscow: Medpraktika-M; 2013. 695. (In Russ.)]
43. Basavarajaiah S, Wilson M, Whyte G, et al. Prevalence and significance of an isolated long QT interval in elite athletes. *Eur Heart J*. 2007;28(23):2944–2949. doi: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehm404>
44. Corrado D, Pelliccia A, Heidbuchel H, et al. Recommendations for interpretation of 12-lead electrocardiogram in the athlete. *Eur Heart J*. 2010;31(2):243–259. doi: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehp473>
45. Комолятова В.Н., Макаров Л.М., Киселева И.И., и др. Изменение интервала QT в ортостазе — новый диагностический маркер синдрома удлиненного интервала QT // *Медицинский алфавит*. — 2019. — Т. 2. — № 21. — С. 18–21. [Komolyatova VN, Makarov LM, Kiseleva II, et al. Changing QT interval in orthostasis — new diagnostic marker of syndrome of extended QT interval. *Medicinskij alfavit*. 2019;2(21):18–21. (In Russ.)] doi: [https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-2-21\(396\)-18-21](https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-2-21(396)-18-21)
46. Balykova LA, Kotlyarov AA, Ivyanskiy SA, et al. Electrophysiological predictors of sudden cardiac death on physical exercise test in young athletes. *Journal of Physics Conference Series*. 2017;784(1):012011. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/784/1/012011>
47. Bazoukis G, Yeung C, Wui Hang Ho R, et al. Association of QT dispersion with mortality and arrhythmic events—A meta-analysis of observational studies. *J Arrhythm*. 2019;36(1):105–115. doi: <https://doi.org/10.1002/joa3.12253>
48. Okin PM, Devereux RB, Howard BV, et al. Assessment of QT interval and QT dispersion for prediction of all-cause and cardiovascular mortality in American Indians: The Strong Heart Study. *Circulation*. 2000;101(1):61–66. doi: <https://doi.org/10.1161/01.cir.101.1.61>
49. Chen S, Motonaga KS, Hollander SA, et al. Electrocardiographic repolarization abnormalities and increased risk of life-threatening arrhythmias in children with dilated cardiomyopathy. *Heart Rhythm*. 2016;13(6):1289–1296. doi: <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2016.02.014>
50. Fauchier L, Douglas J, Babuty D, et al. QT dispersion in nonischemic dilated cardiomyopathy. A long-term evaluation. *Eur J Heart Fail*. 2005;7(2):277–282. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejheart.2004.07.009>
51. Calò L, Lanza O, Crescenzi C, et al. The value of the 12-lead electrocardiogram in the prediction of sudden cardiac death. *Eur Heart J Suppl*. 2023;25(SupplC):C218–C226. doi: <https://doi.org/10.1093/eurheartjsupp/suad023>
52. Zareba W, Bayes de Luna A. QT dynamics and variability. *Ann Noninvasive Electrocardiol*. 2005;10(2):256–262. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1542-474X.2005.10205.x>
53. Makarov L, Komoliatova V, Zevald S, et al. QT dynamicity, microvolt T-wave alternans, and heart rate variability during 24-hour ambulatory electrocardiogram monitoring in the healthy newborn of first to fourth day of life. *J Electrocardiol*. 2010;43(1):8–14. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2009.11.001>
54. Макарова В.А., Леонтьева И.В. Турбулентность ритма сердца у детей с гипертрофической кардиомиопатией как маркер электрической нестабильности миокарда // *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. — 2014. — № 4. — С. 64–68. [Makarova VA, Leontieva IV. Heart rate turbulence as a marker of myocardial electrical instability in children with hypertrophic cardiomyopathy. *Rossiiskij vestnik perinatologii i pediatrii*. 2014;4:64–68. (In Russ.)]
55. Tiwari R, Kumar R, Malik S, et al. Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability. *Curr Cardiol Rev*. 2021;17(5):e160721189770. doi: <https://doi.org/10.2174/1573403X16999201231203854>
56. Hillebrand S, Gast KB, de Mutsert R, et al. Heart rate variability and first cardiovascular event in populations without known cardiovascular disease: meta-analysis and dose-response meta-regression. *Europace*. 2013;15(5):742–749. doi: <https://doi.org/10.1093/europace/eus341>
57. Eyre EL, Duncan MJ, Birch SL, et al. The influence of age and weight status on cardiac autonomic control in healthy children: a review. *Auton Neurosci*. 2014;186:8–21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2014.09.019>
58. Farah BQ, Andrade-Lima A, Germano-Soares AH, et al. Physical activity and heart rate variability in adolescents with abdominal obesity. *Pediatr Cardiol*. 2018;39(3):466–472. doi: <https://doi.org/10.1007/s00246-017-1775-6>
59. Ling N, Li CL, Wang ZZ, et al. Heart rate variability in children with myocarditis presenting with ventricular arrhythmias. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2018;22(4):1102–1105. doi: https://doi.org/10.26355/eurrev_201802_14397
60. Limongelli G, Miele T, Pacileo G, et al. Heart rate variability is a weak predictor of sudden death in children and young patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Heart*. 2007;93(1):117–118. doi: <https://doi.org/10.1136/hrt.2005.087338>
61. Мельникова И.Ю., Токарева Ю.А. Индекс «электрической добротности сердца» позволяет спрогнозировать степень риска фатальных кардиогенных состояний у детей и подростков // *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. — 2021. — Т. 185. — № 1. — С. 150–154. [Melnikova IYu, Tokareva YuA. The index of “electrical quality of the heart” allows predicting the degree of risk of fatal cardiogenic conditions in children and adolescents. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2021;185(1):150–154. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-185-1-150-154>

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Балькова Лариса Александровна, д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН [*Larisa A. Balykova*, MD, PhD, Professor, Corresponding Member of the RAS]; **адрес:** 430005, Саранск, ул. Большевикская, д. 98
[**address:** 98 Bolshevistskaya str., 430005, Saransk, Russia]; **e-mail:** larisabalykova@yandex.ru, **SPIN-код:** 2024-5807, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2290-0013>

Ширманкина Марина Васильевна, ординатор [*Marina V. Shirmankina*, Clinical Resident];
e-mail: shirmankina99@mail.ru, **SPIN-код:** 2141-2903, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9049-5662>

Ивянский Станислав Александрович, к.м.н. [*Stanislav A. Iyanskiy*, MD, PhD]; **e-mail:** stivdoctor@yandex.ru,
SPIN-код: 9931-6767, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0087-4421>

Краснопольская Анна Валерьевна, к.м.н. [*Anna V. Krasnopskaya*, MD, PhD]; **e-mail:** abalykova@gmail.ru,
SPIN-код: 6033-5816, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3990-9353>

Владимиров Денис Олегович, аспирант [*Denis O. Vladimirov*, Post-Graduate Student]; **e-mail:** d.o.vladimirov@yandex.ru,
SPIN-код: 1070-6203, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2121-8346>

Шаблинова Татьяна Сергеевна, аспирант [*Tatyana S. Shablinova*, Post-Graduate Student];
e-mail: Doc.Parshina@yandex.ru, **SPIN-код:** 7409-3568, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4401-8395>

Тягушева Евгения Николаевна, студент [*Evgenia N. Tyagusheva*, Student]; **e-mail:** evgenia.tyagusheva@yandex.ru,
SPIN-код: 5039-9934, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1193-3178>