

Деформация миокарда левого желудочка и электрокардиографические изменения у детей с гипертрофической кардиомиопатией

Н.Ю. Черных¹, ORCID: 0000-0003-2014-4012, chernykh-nauka@mail.ru

А.А. Тарасова², ORCID: 0000-0002-8033-665X, tarasova-aa@yandex.ru

О.С. Грознова¹, ORCID: 0000-0002-7511-3240, ogroznova@gmail.com

И.М. Шигабеев³, beat@live.ru

¹ Научно-исследовательский клинический институт педиатрии имени академика Ю.Е. Вельтищева; 125412, Россия, Москва, ул. Талдомская, д. 2

² Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования; 125993, Россия, Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1

³ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»; 119049, Россия, Москва, Ленинский проспект, д. 4

Резюме

Введение. Гипертрофическая кардиомиопатия – одно из самых распространенных заболеваний миокарда у детей. Между тем взаимосвязь показателей деформации миокарда и электрокардиографических изменений, их диагностическое значение для детей с гипертрофической кардиомиопатией (ГКМП) остаются недостаточно хорошо изученными.

Цель. Провести анализ взаимосвязи показателей деформации миокарда левого желудочка и электрокардиографии у детей с гипертрофической кардиомиопатией.

Материалы и методы. Обследован 61 пациент с асимметричной формой гипертрофической кардиомиопатией в возрасте от 7 до 17 лет. Из них с необструктивной формой – 45 (73,8%) детей, с обструктивной формой – 16 (26,2%) детей. Проводилась электрокардиография и суточное мониторирование по Холтеру. При эхокардиографии в режиме 2D speckle tracking определялись показатели глобальной продольной, радиальной, циркулярной деформаций миокарда левого желудочка и их скорости.

Результаты. У детей с гипертрофической кардиомиопатией изучены электрокардиографические признаки гипертрофии (отклонение электрической оси влево, преобладание зубца R в отведении I, V₆ над зубцом S, преобладание зубца S в отведении V₁ над зубцом R) и ишемии миокарда (инверсия зубца T и снижение сегмента ST в отведениях I, II, V₅, V₆), нарушения ритма и проводимости (желудочковая экстрасистолия, атриовентрикулярная блокада I степени, расширение комплекса QRS в отведениях V₁-V₃, неполная блокада передней левой ветви пучка Гиса, увеличение продолжительности терминальной активации), которые достоверно преобладали при обструктивной форме по сравнению с необструктивной формой. Установлено снижение глобальной продольной, радиальной, циркулярной деформаций миокарда левого желудочка и их скоростей, достоверно более выраженное в группе с обструктивной формой гипертрофической кардиомиопатией. Выявлены обратные корреляционные связи между показателями деформации и ЭКГ-признаками гипертрофии и ишемии миокарда, нарушениями проводимости, более выраженные между параметрами продольной деформации и электрокардиографии с достоверным преобладанием при обструктивной форме заболевания.

Выводы. У детей с обструктивной формой гипертрофической кардиомиопатии по сравнению с необструктивной формой отмечаются достоверно более выраженные признаки гипертрофии и ишемии миокарда, нарушений ритма и проводимости на электрокардиографии и при суточном мониторировании по Холтеру.

Ключевые слова: дети, гипертрофическая кардиомиопатия, скорость деформации миокарда, 2D speckle tracking, эхокардиография, электрокардиография

Для цитирования: Черных Н.Ю., Тарасова А.А., Грознова О.С., Шигабеев И.М. Деформация миокарда левого желудочка и электрокардиографические изменения у детей с гипертрофической кардиомиопатией. *Медицинский совет.* 2021;(11):124–132. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-11-124-132>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Left ventricular myocardial strain and electrocardiographic changes in children with hypertrophic cardiomyopathy

Nadezhda Yu. Chernykh¹, ORCID: 0000-0003-2014-4012, chernykh-nauka@mail.ru

Alla A. Tarasova², ORCID: 0000-0002-8033-665X, tarasova-aa@yandex.ru

Olga S. Groznova¹, ORCID: 0000-0002-7511-3240, ogroznova@gmail.com

Ilya M Shigabev³, beat@live.ru

¹ Veltischev Research and Clinical Institute for Pediatrics; 2, Taldomskaya St., Moscow, 125412, Russia

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education; 2/1, Bldg. 1, Barrikadnaya St., Moscow, 125993, Russia

³ National University of Science and Technology "MISIS"; 4, Leninskiy Prospekt, Moscow, 119049, Russia

Abstract

Introduction. Hypertrophic cardiomyopathy is one of the most common diseases of the myocardium in children. Meanwhile, the relationship between indicators of strain and electrocardiographic changes, their diagnostic significance for children with hypertrophic cardiomyopathy remains an insufficiently well-studied issue.

Purpose. To analyze the relationship between indicators of strain of the left ventricular and ECG in children with hypertrophic cardiomyopathy (HCM).

Materials and methods. Have been examined 61 patients with an asymmetric form of hypertrophic cardiomyopathy aged from 7 to 17 years. Of these, 45 (73.8%) children with nonobstructive form, 16 (26.2%) children with obstructive form. Electrocardiography (ECG) and 24-hour Holter monitoring ECG had performed. The parameters of global longitudinal, radial and circular of the left ventricular myocardial strain and their rates had determined by echocardiography in the 2D speckle tracking mode

Results. In children with HCM, ECG signs of hypertrophy were studied (deviation of the electrical axis to the left, the predominance of the R wave in lead I, V_6 over the S wave, the predominance of the S wave in lead V_1 over the R wave) and myocardial ischemia (inversion of the T wave and a decrease in the ST segment in the leads I, II, V_5 , V_6), rhythm and conduction disorders (ventricular extrasystole, degree I atrioventricular block, expansion of the QRS complex in leads V_1 - V_3 , incomplete blockade of the anterior left branch of the His bundle, increased duration of terminal activation), which significantly prevailed in obstructive form versus non-obstructive form. A decrease in the global longitudinal, radial, circular strain of the left ventricular myocardium and their rates had found, which had significantly more pronounced in the group with obstructive HCM. Inverse correlations had found between the parameters of strain and ECG-signs of hypertrophy and myocardial ischemia, conduction disorders, more pronounced between the parameters of longitudinal strain and ECG with a significant predominance in the obstructive form of the disease.

Conclusions. In children with obstructive HCM, compared with the non-obstructive form, there have significantly more pronounced signs of myocardial hypertrophy and ischemia, rhythm and conduction disorders on the ECG and with 24-hour Holter monitoring ECG.

Keywords: children, hypertrophy cardiomyopathy, strain rate, 2D speckle tracking, echocardiography, electrocardiogram

For citation: Chernykh N.Yu., Tarasova A.A., Groznova O.S., Shigabiev I.M. Left ventricular myocardial strain and electrocardiographic changes in children with hypertrophic cardiomyopathy. *Meditsinskiy sovet = Medical Council*. 2021;(11):124–132. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-11-124-132>.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Гипертрофическая кардиомиопатия (ГКМП) является вторым по распространенности заболеванием миокарда у детей [1, 2]. В качестве рутинных, общедоступных методов обследования у детей с ГКМП следует отметить электрокардиографические методы, которые широко используются для выявления вероятности риска кардиогенных жизнеугрожающих состояний при данном заболевании [1, 3]. Электрокардиографические изменения при ГКМП достаточно многообразные и отражают в основном гипертрофию различных отделов сердца, нарушения метаболизма миокарда, ритма и проводимости [3–5]. Наиболее часто встречающиеся изменения электрокардиограммы (ЭКГ) у детей с ГКМП следующие: тенденция к брадикардии, гипертрофия левого желудочка, феномен WPW, глубокий зубец Q, вторичное удлинение интервала QT, блокада ножек пучка Гиса, расширение комплекса QRS [3–5]. Нередко определяются признаки электрической нестабильности миокарда (инверсия сегмента ST, наличие поздних потенциалов желудочков, изменение вариабельности ритма) [2]. При суточном мониторингировании ЭКГ по Холтеру выявляются различные нарушения ритма и проводимости, которые, наряду с инфарктоподобными изменениями и удлинением интервала QT, являются факторами неблагоприятного прогноза в детском возрасте [1, 2, 6].

Несмотря на возможность регистрации ряда очень выраженных изменений, стандартная ЭКГ не является высокоспецифичным методом обследования у детей

с ГКМП. Это недостаточно валидный метод для прицельного скрининга ГКМП в детской популяции [3, 7]. Следует учитывать, что оценка функции миокарда по стандартной ЭКГ у детей очень обобщена, учет сегментарной локализации затруднителен [3, 4, 7]. Индивидуальные особенности расположения сердца в грудной клетке и их изменение на фоне роста ребенка создают дополнительные погрешности даже при проведении ЭКГ-картирования. По ЭКГ у детей с ГКМП оценить взаимосвязь ишемических нарушений с функцией миокарда можно лишь косвенно в связи с морфофункциональными особенностями детского сердца [2, 3, 7].

На современном этапе развития ультразвуковой диагностики большой интерес представляет выявление связи между электрографическими и ультразвуковыми показателями ишемии и гипертрофии миокарда. На сегодняшний день к наиболее чувствительным неинвазивным методам оценки ранних субклинических нарушений систолической функции миокарда относится методика 2D speckle tracking, позволяющая определять показатели глобальной продольной, радиальной, циркулярной деформаций (strain) миокарда и их скоростей (strain rate) [8–12]. Кроме того, данный метод позволяет оценивать деформацию отдельно в каждом сегменте миокарда, что делает его значительно более чувствительным в выявлении ранних нарушений сократимости, чем ЭКГ [8, 9, 11].

Связь между показателями ЭКГ и деформацией миокарда в основном изучена во взрослой популяции. У взрослых пациентов с аортальным стенозом были выяв-

лены обратные корреляционные связи между ЭКГ-критериями гипертрофии левого желудочка, такими как индексы Корнельского ($r = -0,338$) и Губнера ($r = -0,281$), и длительностью интервала QRS ($r = -0,225$), отражающего деполаризацию миокарда, и глобальной продольной систолической деформацией [13]. При острой ишемии миокарда при депрессии сегмента ST и инверсии зубца T во II, III, aVF и переднелатеральных (V_3 - V_6) отведениях, указывающих на инфаркт миокарда без подъема сегмента ST или нестабильную стенокардию, отмечалось снижение продольной деформации ниже 20% в аналогичных сегментах миокарда [14]. У пациентов с идиопатической блокадой левой ножки пучка Гиса с сохраненной фракцией выброса левого желудочка и отсутствием инфаркта миокарда в анамнезе, по сравнению с группой здоровых добровольцев, было обнаружено достоверное снижение глобальной продольной деформации ($-14,6 \pm 3,98\%$ и $-18,4 \pm 3,1\%$, $p = 0,0006$) и глобальной деформации миокарда левого желудочка по окружности на уровне базальных отделов ($-7,02 \pm 4,40\%$ и $-10,6 \pm 4,18\%$, $p = 0,0075$) [15].

У детей с ГКМП степень гипертрофии левого желудочка, оцененная на ЭКГ по критериям Соколова (сумма глубины зубца S в V_1 или V_2 и высоты зубца R в V_5 или V_6), а также депрессия сегмента ST достоверно коррелировали со снижением продольной деформации миокарда в базальном отделе межжелудочковой перегородки ($r = -0,77$, $p < 0,01$ и $r = -0,76$, $p < 0,01$ соответственно) и со скоростью деформации ($r = -0,66$, $p < 0,01$ и $r = -0,68$, $p < 0,01$ соответственно) [16].

Несмотря на независимую прогностическую значимость, ЭКГ-критерии ишемии и гипертрофии миокарда не всегда являются отражением данных изменений миокарда, установленных при ультразвуковом исследовании сердца [2, 17, 18]. ЭКГ-признаки указывают не столько на начальные патологические процессы в миокарде, сколько на более поздние, глобальные изменения в результате хронической перегрузки давлением, в частности, когда развивается выраженный интерстициальный фиброз в тканях миокарда. Для начальной стадии фиброза миокарда характерно повышение жесткости и изменение кинетики в отдельных сегментах и слоях, в результате чего происходит сначала нарушение диастолической, а затем и систолической функции левого желудочка. При постоянной перегрузке давлением патологические процессы в миокарде начинаются задолго до развития выраженной гипертрофии и ишемии, которые регистрируются на ЭКГ. Только когда усиливаются процессы фиброза внутри миокарда, приводящие к значительному повышению жесткости миокарда и снижению кинетики, происходит нарушение процессов реполяризации, что удается зарегистрировать на ЭКГ [4, 5, 19].

Поиск взаимосвязи между ЭКГ-параметрами и деформацией миокарда труден тем, что не всегда возможно корректно проводить измерение деформации у детей при различных нарушениях ритма и проводимости. Это связано со сложностью обработки и анализа данных методом 2D speckle tracking в детском возрасте. Программный анализ оценки деформации четко привязан к определен-

ному сердечному циклу на ЭКГ и заложенным алгоритмам. При изменении частоты или длительности сердечного цикла меняется и алгоритм оценки данных, что порой может привести к ошибке в измерениях деформации [20]. Остается до конца неизученной связь деформации миокарда и ЭКГ, изменений у детей с ГКМП.

Цель исследования: провести анализ взаимосвязи показателей деформации миокарда левого желудочка и ЭКГ у детей с гипертрофической кардиомиопатией.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследуемую группу был включен 61 пациент с ассиметричной формой первичной ГКМП в возрасте от 7 до 17 лет (медиана = 12 лет): 14 (22,9%) девочек, 47 (77,1%) мальчиков. С неструктурной формой ГКМП было обследовано 45 (73,8%) детей, с обструктивной формой – 16 (26,2%) детей. Обструкция определялась на уровне выходного тракта левого желудочка с градиентом давления 30–50 мм рт. ст. как в покое, так и при нагрузочном тесте. Латентных форм выявлено не было. Для выявления латентных форм сердечной недостаточности и определения функционального класса (ФК) по классификации NYHA, степени нарушения кровообращения (НК) по классификации В.Х. Василенко, Н.Д. Стражеско, Г.Ф. Ланга был проведен тест с 6-минутной ходьбой.

Электрокардиографическое исследование выполнялось на 6-канальном компьютерном электрокардиографе Fukuda Cardio Max 4010 (Япония) в 12 стандартных отведениях с целью выявления признаков ишемии и гипертрофии миокарда, нарушений сердечного ритма, проводимости, процессов реполяризации желудочков. Был проведен расчет длительности интервалов QRS и QT от начала зубца Q до окончания зубца S или T соответственно. В качестве выявления дополнительных ЭКГ-критериев электрической нестабильности миокарда выполнялось ЭКГ высокого разрешения на аппарате KARDi+ЭКГ BP фирмы «МКС» (Россия) по методике Simson M с применением системы трех ортогональных отведений по Франку, с регистрацией и дальнейшим усредненным анализом от 100 до 400 ЭКГ-комплексов.

Суточное мониторирование ЭКГ по Холтеру проводилось на мониторе Cardio day GE 1.1 (США). Исследование осуществлялось в течение 18–24 ч с обязательным периодом ночного сна, 2–3 эпизодами форсированной физической нагрузки (подъем по лестнице). По результатам суточного мониторинга оценивались: минимальная, максимальная, среднедневная, средненочная, среднесуточная частота сердечных сокращений (ЧСС), циркадный профиль ритма, оценивались нарушения ритма сердца в течение всего времени мониторирования, максимальная пауза ритма сердца относительно возрастной нормы, продолжительность интервалов QT, QTc на минимальной и максимальной ЧСС, вариабельность ритма сердца.

Ультразвуковое исследование сердца выполнялось на аппарате Artida фирмы Canon (Япония) по стандартной методике с использованием матричного датчика с диапазоном частот 4–6 МГц [21]. Оценка глобальной

систолической функции производилась офлайн в режиме 2D speckle tracking [20]. Определялись глобальная продольная, циркулярная и радиальная деформации миокарда и скорости деформации в 12 сегментах базального и среднего отделов левого желудочка.

Для измерения продольной деформации использовались апикальные двух- и четырехкамерные позиции, позицию по длинной оси левого желудочка (рис. 1).

Для оценки радиальной и циркулярной деформации применяли парастернальные позиции по короткой оси левого желудочка на уровне створок и папиллярных мышц митрального клапана (рис. 2).

Параллельно осуществлялась запись электрокардиограммы. Все дети имели частоту сердечных сокращений и частоту дыхания в пределах релевантных значений. Анализ интегральных кривых деформации миокарда в момент систолы проводился программным обеспечением COR в автоматическом и полуавтоматическом режимах от зубца R на электрокардиограмме в трех сердечных циклах с получением среднего результата.

Статистический анализ выполнялся в программной среде статистического модуля программы R (Окленд, Новая Зеландия) в интеграции SPSS 16.0 (SPSS, Chicago, USA). Распределение качественных (номинальных) переменных сравнивалось при помощи критерия хи-квадрат с поправкой Йейтса. Достоверность различий уточнялась с помощью критерия Стьюдента. Проводился корреляционно-регрессионный анализ, определялся коэффициент сопря-

женности Пирсона. Для оценки силы связи двух качественных переменных в малых группах определяли значения таких мер связи, как коэффициент контингенции и F-критерий Фишера. Оценка корреляционных связей между парами количественных признаков осуществлялась с использованием непараметрического рангового коэффициента Спирмена (r). Во всех процедурах статистического анализа критический уровень значимости p принимался равным и меньше 0,05. Результаты представлены в виде $M \pm SD$, где M – среднее арифметическое, SD – среднеквадратичное отклонение, медианы Me , минимального и максимального значений ($\min - \max$) [22].

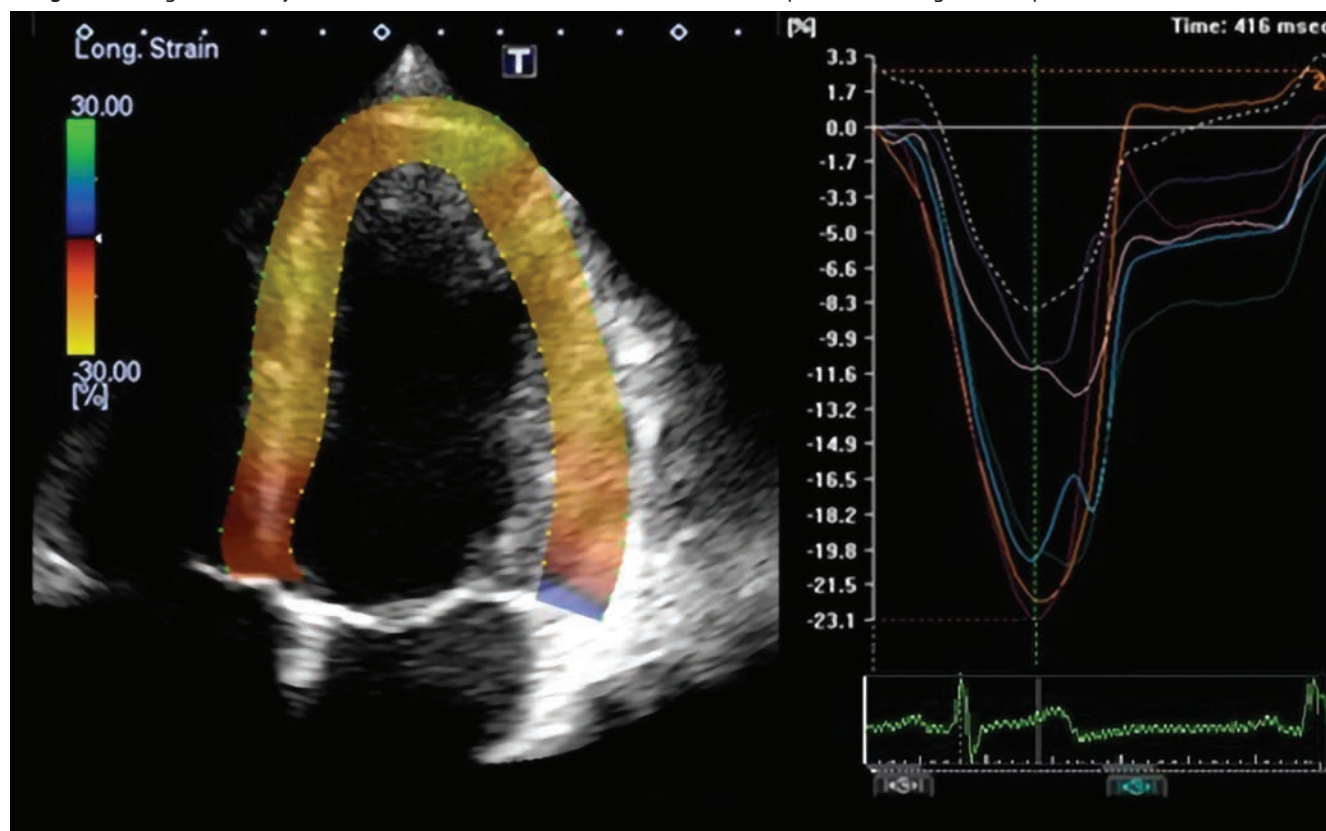
РЕЗУЛЬТАТЫ

При оценке частоты сердечных сокращений было выявлено, что у детей с необструктивной формой ГКМП достоверно преобладали показатели в пределах возрастных значений ($p = 0,031$), у пациентов с обструктивной формой заболевания – брадикардия ($p = 0,034$) (табл. 1). Характерное преобладание брадикардии при обструкции левого желудочка, вероятнее всего, связано с усилением оттока и увеличением градиента давления в каротидном синусе, а также с возможным нарушением Са-каналов и АТФ-связывающих структур, что приводит к уменьшению частоты сердечных сокращений [5, 23].

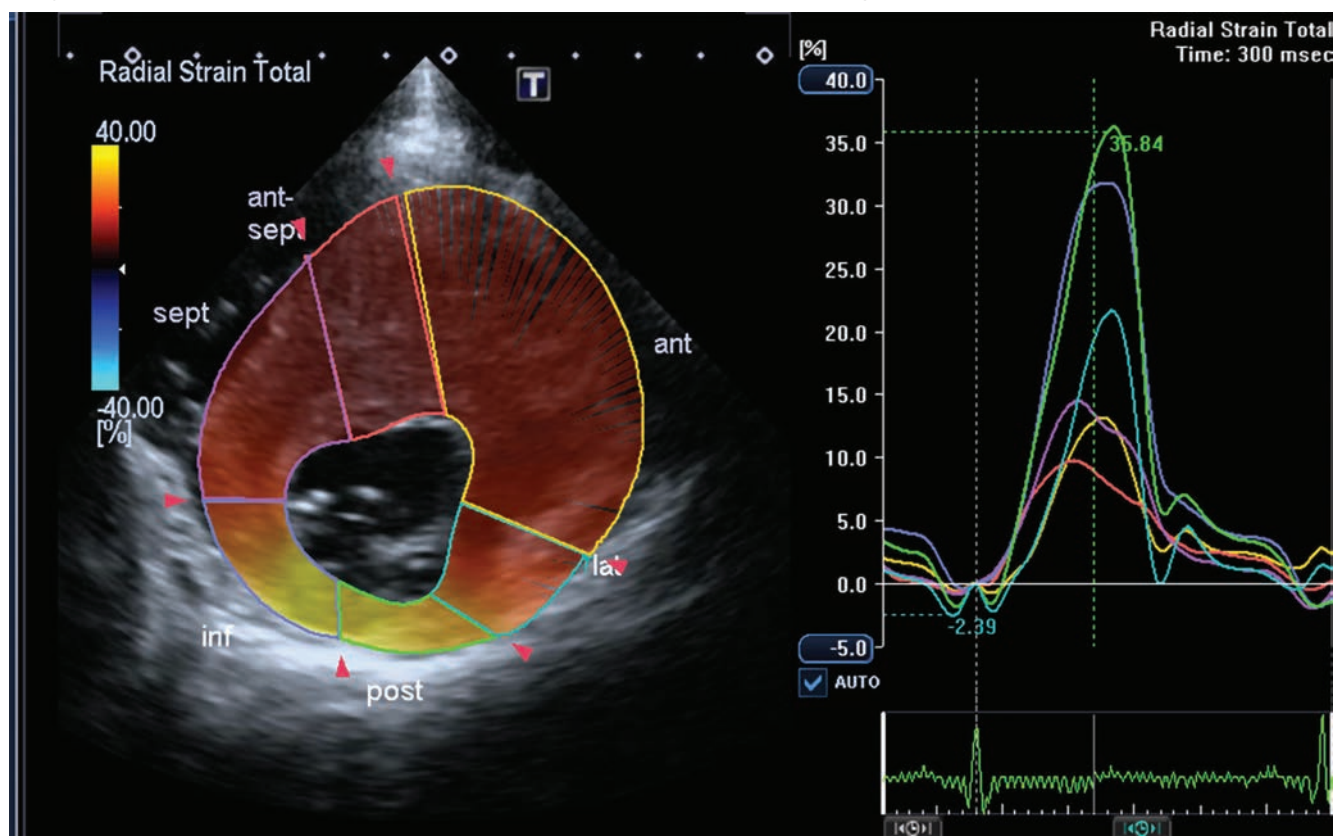
Кроме того, у детей с обструктивной формой ГКМП, по сравнению с необструктивной формой, были получе-

● **Рисунок 1.** Продольная деформация миокарда левого желудочка в режиме 2D speckle-tracking. Апикальная четырехкамерная позиция

● **Figure 1.** Longitudinal myocardial deformation of the left ventricle in 2D speckle-tracking mode. Apical four-chamber view



- **Рисунок 2.** Радиальная деформация миокарда левого желудочка в режиме 2D speckle tracking
- **Figure 2.** Radial deformation of left ventricular myocardium in 2D speckle tracking mode



ны статистически значимые отличия ЭКГ-признаков гипертрофии миокарда, таких как отклонение электрической оси влево ($p = 0,019$), преобладание зубца R в отведении I, V_6 над зубцом S ($p = 0,0397$), преобладание зубца S в отведении V_1 над зубцом R ($p = 0,0397$); признаков ишемии миокарда – инверсия зубца T ($p = 0,01$) и снижение сегмента ST ($p = 0,018$) в отведениях I, II, V_5 , V_6 , а также различных нарушений ритма и проводимости, к которым относились желудочковая экстрасистолия ($p = 0,024$), атриовентрикулярная блокада I степени ($p = 0,05$), расширение комплекса QRS в отведениях V_1 - V_3 ($p = 0,01$), неполная блокада передней левой ветви пучка Гиса ($p = 0,033$), увеличение продолжительности терминальной активации ($p = 0,029$). Такие нарушения, как глубокий зубец Q в отведениях V_1 - V_3 , атриовентрикулярная блокада II степени, феномен WPW, выявление эпсилон волны (eV) в отведениях V_1 - V_3 , были отмечены только у детей с обструктивной формой ГКМП (табл. 2). Полученные результаты отражают более выраженные

признаки гипертрофии, ишемии миокарда, нарушений ритма и проводимости у детей с обструктивной формой ГКМП по сравнению с необструктивной формой.

При анализе суточного мониторингирования ЭКГ по Холтеру у детей с обструктивной формой ГКМП, по сравнению с необструктивной формой, были получены статистически значимые отличия нарушений ритма и проводимости, таких как желудочковая экстрасистолия ($p = 0,024$), атриовентрикулярная блокада I степени ($p = 0,05$); повышение вариабельности ритма сердца ($p = 0,034$) и снижение циркадного профиля ($p = 0,034$). Статистически значимых различий между изменением интервала QT в двух группах не было. Вторичное удлинение интервала отмечалось у детей с выраженной гипертрофией миокарда (в 3–7 сегментах) на фоне приема β -адреноблокаторов. Атриовентрикулярная блокада II степени, феномен WPW, паузы ритма ≥ 3000 мсек были отмечены только у детей с обструктивной формой ГКМП (табл. 3). Результаты свидетельствуют о выраженной электрической нестабильности

- **Таблица 1.** Частота сердечных сокращений у детей с ГКМП
- **Table 1.** Heart rate in children with HCMP

ЧСС (уд/мин)	Необструктивная форма (n = 45)		Обструктивная форма (n = 16)		Значимость различий, p
	n	%	n	%	
В пределах возрастных значений	40*	88,88	2	12,5	0,031
Брадикардия	5	11,11	14*	87,5	0,047

Примечание: * – достоверность различий при $p \leq 0,05$.

● **Таблица 2.** Электрокардиографические показатели у детей с ГКМП (n = 61)

● **Table 2.** Electrocardiographic indices in children with HCM (n = 61)

Показатели	Необструктивная форма (n = 45)		Обструктивная форма (n = 16)		Значимость различий, p
	n	%	n	%	
Признаки гипертрофии миокарда					
Отклонение электрической оси влево (высокий R в I, II, aVL)	14	37,78	16*	100	0,019
Преобладание зубца R в отведении I, V6 над зубцом S	26	57,78	16*	100	0,0397
Преобладание зубца S в отведении V1 над зубцом R	26	57,78	16*	100	0,0397
Смещение переходной зоны влево	36	80	16*	100	0,019
Признаки ишемии миокарда					
Инверсия зубца T в отведениях I, II, V5, V6	5	11,11	14*	87,5	0,01
Снижение сегмента ST в отведениях I, II, V5, V6	5	11,11	16*	100	0,018
Глубокий зубец Q в V1-V3	–	–	2	12,5	–
Признаки нарушения внутрижелудочковой проводимости и процессов деполяризации					
Расширение комплекса QRS в отведениях V1-V3	5	11,11	14*	87,5	0,01
Выявление эpsilon волны (eW) в отведениях V1-V3	–	–	4	25	–
Неполная блокада передней левой ветви пучка Гиса	6	13,33	12*	75	0,033
Дополнительные ЭКГ-критерии (ЭКГ высокого разрешения)					
Выявление поздних желудочковых потенциалов	1	2,22	6	37,5	0,081
Продолжительность терминальной активации (более 55 мсек)	4	8,88	10*	62,5	0,029

Примечание: * – достоверность различий при $p \leq 0,05$.

● **Таблица 3.** Электрокардиографические показатели по данным суточного мониторинга по Холтеру у детей с ГКМП (n = 61)

● **Table 3.** Electrocardiographic indices according to daily Holter monitoring in children with HCM (n = 61)

Показатели	Необструктивная форма (n = 45)		Обструктивная форма (n = 16)		Значимость различий, p
	n	%	n	%	
Признаки нарушения ритма					
Желудочковая экстрасистолия	4	8,88	9*	56,25	0,024
Паузы ритма ≥ 3000 мсек	–	–	2	12,5	–
Признаки нарушения предсердно-желудочковой проводимости					
Атриовентрикулярная блокада I степени	5	11,11	9*	56,25	0,05
Атриовентрикулярная блокада II степени	–	–	3	18,75	–
Феномен WPW	–	–	1	6,25	–
Изменение интервала QT					
Вторичное удлинение интервала QT (>450 мсек)**	5	31,25	8	50	0,069
Вариабельность ритма сердца					
Повышение вариабельности ритма сердца	5	11,11	14*	87,5	0,034
Снижение циркадного профиля (менее 1,32)	5	11,11	14*	87,5	0,034

Примечание: * – достоверность различий при $p \leq 0,05$; ** – после приема препаратов, ассоциированных с удлинением интервала QT.

миокарда желудочков, постепенном вовлечении проводящей системы в патологический процесс, развитии вегетативно-дегенеративных изменений сердца у детей с обструктивной формой ГКМП [6].

Показатели глобальной продольной деформации и ее скорости были снижены в обеих группах в 100% случаев, что, по-видимому, было связано с нарушением сократимости гипертрофированных сегментов миокарда. Снижение глобальной радиальной и циркулярной деформаций, их скоростей наблюдалось у всех детей с обструктивной формой ГКМП и у 39 (86,6%) пациентов с необструктивной формой. При этом отмечалось статистически значимое отличие всех показателей деформации и их скоростей у детей с необструктивной формой ГКМП по сравнению с обструктивной формой, что отражало более выраженные изменения сократительной функции миокарда при обструктивной форме заболевания (табл. 4). Значительное снижение деформации отмечалось при выраженной гипертрофии миокарда (в 3–7 сегментах). Это связано

с тем, что при гипертрофии миокарда происходит дисбаланс между потребностью в кислороде и доставкой, превышающий резерв коронарного кровотока, что, в свою очередь, приводит к регионарной ишемии.

Корреляционный анализ взаимосвязи между параметрами глобальной деформации миокарда и ЭКГ показал, что у детей с обструктивной формой ГКМП, по сравнению с необструктивной формой, отмечались статистически значимые умеренные обратные связи между продольной деформацией и ее скоростью и ЭКГ-признаками гипертрофии (преобладание зубца R над S в отведениях I, V₆; преобладание зубца S над зубцом R в отведении V₁; смещение переходной зоны влево), ишемии миокарда (инверсия зубца T и снижение сегмента ST в I, II, V₅, V₆-отведениях; глубокий зубец Q в V₁-V₃), нарушения проводимости (расширение комплекса QRS в отведениях V₁-V₃, неполная блокада передней левой ветви пучка Гиса) (табл. 5).

При оценке взаимосвязи показателей глобальной радиальной деформации миокарда с ЭКГ-изменениями

● **Таблица 4.** Показатели систолической функции левого желудочка у детей с ГКМП (n = 61)

● **Table 4.** Left ventricular systolic function indices in children with HCMP (n = 61)

Показатели (релевантные значения)	Необструктивная форма ГКМП (n = 45)			Обструктивная форма ГКМП (n = 16)			Значимость различий p
	M ± σ	Медиана	Мин. – макс. значения	M ± σ	Медиана	Мин. – макс. значения	
Продольная деформация (20%)	-11,06 ± 6,42	-10,44*	-9,33–18,4	-10,13 ± 6,07	-8,24	-0,49–14,42	0,002
Скорость продольной деформации (0,68с-1)	-0,59 ± 0,13	-0,61*	-0,46–0,66	-0,36 ± 0,23	-0,35	-0,22–0,61	0,0025
Радиальная деформация (20%)	19,44 ± 14,5	19,14*	8,44–39,6	15,10 ± 11,2	13,42	0,89–18,1	0,003
Скорость радиальной деформации (1,08с-1)	1,01 ± 0,11	1,02*	0,82–2,77	0,94 ± 0,41	0,87	0,65–1,02	0,002
Циркулярная деформация (20%)	-17,25 ± 13,4	-18,11*	-8,9–33,5	-11,62 ± 9,11	-12,29	-0,69–16,2	0,016
Скорость циркулярной деформации (0,74с-1)	-0,65 ± 0,14	-0,56*	-0,12 ± -1,4	-0,51 ± 0,21	-0,48	-0,32–0,71	0,011

Примечание: * – достоверность различий при p ≤ 0,05.

● **Таблица 5.** Коэффициенты корреляции (r) между показателями глобальной деформации левого желудочка и электрокардиографическими изменениями у детей с ГКМП (n = 61)

● **Table 4.** Correlation coefficients (r) between global left ventricular deformation indices and electrocardiographical changes in children with HCMP (n = 61)

Показатели	Преобладание зубца R в отведении I, V ₆ над зубцом S		Преобладание зубца S в отведении V ₁ над зубцом R		Смещение переходной зоны влево		Инверсия зубца T в отведениях I, II, V ₅ , V ₆		Снижение сегмента ST в отведениях I, II, V ₅ , V ₆		Глубокий зубец Q в V ₁ -V ₃		Расширение комплекса QRS в отведениях V ₁ -V ₃		Неполная блокада передней левой ветви пучка Гиса	
	НФ (n = 45)	ОФ (n = 16)	НФ (n = 45)	ОФ (n = 16)	НФ (n = 45)	ОФ (n = 16)	НФ (n = 45)	ОФ (n = 16)	НФ (n = 45)	ОФ (n = 16)	НФ (n = 45)	ОФ (n = 16)	НФ (n = 45)	ОФ (n = 16)	НФ (n = 45)	ОФ (n = 16)
Продольная деформация, (%)	-0,34	-0,51* (p = 0,009)	-0,34	-0,50* (p = 0,009)	-0,39	-0,44* (p = 0,004)	-0,42	-0,54* (p = 0,018)	-0,48	-0,61* (p = 0,019)	-0,14	-0,44* (p = 0,004)	-0,24	-0,42* (p = 0,003)	-0,49	-0,53* (p = 0,017)
Скорость продольной деформации, (с-1)	-0,29	-0,49* (p = 0,007)	-0,29	-0,42* (p = 0,003)	-0,36	-0,45* (p = 0,005)	-0,46	-0,59* (p = 0,021)	-0,46	-0,60* (p = 0,023)	-0,16	-0,46* (p = 0,006)	-0,29	-0,43* (p = 0,003)	-0,48	-0,53* (p = 0,017)
Радиальная деформация, (%)	0,42	-0,54	0,42	-0,49	-0,33	-0,38	-0,31	-0,46* (p = 0,006)	-0,39	-0,59* (p = 0,021)	-0,12	-0,41* (p = 0,002)	-0,30	-0,48* (p = 0,008)	-0,29	-0,41* (p = 0,002)
Скорость радиальной деформации (с-1)	0,39	-0,44	0,41	-0,48	-0,34	-0,38	-0,32	-0,44* (p = 0,004)	-0,31	-0,63* (p = 0,024)	-0,15	-0,39	-0,26	-0,46* (p = 0,004)	-0,24	-0,39
Циркулярная деформация, (%)	-0,32	-0,39	-0,33	-0,45* (p = 0,005)	-0,33	-0,39	-0,29	-0,42	-0,24	-0,56* (p = 0,018)	-0,14	-0,48* (p = 0,007)	-0,24	-0,41* (p = 0,002)	-0,21	-0,38
Скорость циркулярной деформации, (с-1)	-0,31	-0,41	-0,29	-0,44* (p = 0,004)	-0,35	-0,39	-0,29	-0,43	-0,26	-0,58* (p = 0,022)	-0,13	-0,47* (p = 0,006)	-0,26	-0,40	-0,22	-0,37

Примечание: * – достоверность различий при p ≤ 0,05. НФ – неструктивная форма ГКМП; ОФ – обструктивная форма.

отмечались обратные умеренные связи с их достоверным преобладанием в группе с обструктивной формой ГКМП по признакам ишемии миокарда и нарушения проводимости. При этом между показателями радиальной деформации и такими ЭКГ-признаками гипертрофии миокарда, как преобладание зубца R над S в отведениях I, V₆ и преобладание зубца S над зубцом R в отведении V₁ у детей с необструктивной формой заболевания, были выявлены прямые умеренные корреляционные связи, у пациентов с обструктивной формой – обратные связи. Связи между показателями глобальной циркулярной деформации миокарда и ЭКГ были обратными, умеренными, с достоверным преобладанием в группе с обструктивной формой ГКМП по таким признакам, как преобладание зубца S над зубцом R в отведении V₁; снижение сегмента ST в I, II, V₅, V₆-отведениях; глубокий зубец Q в V₁-V₃; расширение комплекса QRS в отведениях V₁-V₃ (табл. 5).

В целом проведенный корреляционный анализ отражает более выраженную связь показателей продольной деформации миокарда с ЭКГ-изменениями, по сравнению с показателями радиальной и циркулярной деформации, с достоверным преобладанием в группе детей с обструктивной формой ГКМП, т. к. структурные изменения миокарда с более выраженным нарушением целостности волокон присутствуют в более гипертрофированных сегментах.

ВЫВОДЫ

У детей с обструктивной формой ГКМП по сравнению с необструктивной формой отмечаются достоверно более выраженные признаки гипертрофии и ишемии миокарда, нарушений ритма и проводимости на ЭКГ и при суточном мониторингировании по Холтеру.

Глобальная продольная, радиальная, циркулярная деформация миокарда и их скорости достоверно ниже при обструктивной форме заболевания по сравнению с необструктивной формой. Показатели глобальной продольной деформации являются более чувствительными по сравнению с радиальной и циркулярной деформацией в оценке сократительной функции миокарда.

У детей с ГКМП наблюдаются обратные корреляционные связи между показателями деформации и ЭКГ-признаками гипертрофии и ишемии миокарда, нарушениями проводимости, которые более выражены между параметрами продольной деформации и ЭКГ при сравнении с показателями радиальной и циркулярной деформации с достоверным преобладанием в группе с обструктивной формой ГКМП.

Поступила / Received 05.05.2021
Поступила после рецензирования / Revised 20.05.2021
Принята в печать / Accepted 25.05.2021

Список литературы

- Elliott PM, Anastakis A, Borger M.A., Borggreffe M., Cecchi F., Charron Ph. et al. 2014 ESC Guidelines on diagnosis and management of hypertrophic cardiomyopathy. The Task Force for the Diagnosis and Management of Hypertrophic Cardiomyopathy of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2014;36(39):2735–2739. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu284>.
- Леонтьева И.В., Макарова В.А. Гипертрофическая кардиомиопатия у детей. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2013;58(5): 23–34. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/gipertroficheskaya-kardiomiopatiya-u-detej/viewer>.
- Гутхайль Х., Линдигер А. *ЭКГ детей и подростков*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2012. 256 с. Режим доступа: <https://medknigaservis.ru/wp-content/uploads/2019/09/Q0122367.pdf>.
- Голдбергер А.Л. *Клиническая электрокардиография. Наглядный подход*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2009. 328 с.
- Макаров Л.М. *ЭКГ в педиатрии*. 3-е изд. М.: Медпрактика-М; 2013. 696 с.
- Макаров Л.М. *Холтеровское мониторирование*. 3-е изд. М.: Медпрактика-М; 2008. 456 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19497124>.
- Грознова О.С., Леонтьева И.В., Полякова А.В. Современные методы обследования больных гипертрофической кардиомиопатией. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2014;59(4):24–27. Режим доступа: <https://www.ped-perinatology.ru/jour/article/view/51>.
- Алехин М.Н. Клиническое использование показателей продольной систолической деформации левого желудочка сердца. *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2017;(4):101–111. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32400424>.
- Галагузда М.М., Домницкая Т.М., Зеленикин М.М., Кулагина Т.Ю., Никифоров В.С., Сандриков В.А. (ред.). *Клиническая эхокардиография*. 5-е изд. М.: Логосфера; 2019. 1352 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39219498>.
- Павлюкова Е.Н., Терешенкова Е.К., Карпов Р.С. Деформация в продольном направлении и по окружности, ротация, скручивание и раскручивание левого желудочка у пациентов с асимметричной гипертрофией левого желудочка. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2014;29(3):55–62. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2014-29-3-11-20>.
- Черных Н.Ю., Грознова О.С., Довгань М.И., Подольский В.А. Изменение деформации миокарда как ранний маркер миокардиальной дисфункции при гипертрофической кардиомиопатии у детей. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2016;61(5):70–74. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2016-61-5-70-74>.
- de Korte C.L., Nillesen M.M., Saris A.E., Lopata R.G., Thijssen J.M., Kapusta L. New developments in paediatric cardiac functional ultrasound imaging. *J Med Ultrason*. 2014;41(3):279–290. <https://doi.org/10.1007/s10396-013-0513-9>.
- Чумакова О.С., Типтева Т.А., Алехин М.Н., Затеищikov Д.А. Отражение ранней систолической дисфункции миокарда левого желудочка на электрокардиограмме у больных с аортальным стенозом. *Кардиология*. 2015;55(12):42–48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25133652>.
- Carey M.G., Ponivas S.J., Pelter M.M. Differentiating ST-Segment Strain Pattern from Acute Ischemia. *Am J Crit Care*. 2006;15(3):321–322. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16632776>.
- Павлюкова Е.Н., Кужель Д.А. Скручивание левого желудочка при идиопатической блокаде левой ножки пучка Гиса. *Российский кардиологический журнал*. 2017;(7):121–124. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2017-7-121-124>.
- Ganane J., Mertens L., Eidem B.W., Claus P., D'hooge J., Havemann L.M. et al. Regional myocardial deformation in children with hypertrophic cardiomyopathy: morphological and clinical correlations. *Eur Heart J*. 2007;28(23):2886–2894. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehm444>.
- Васюк Ю.А. (ред.). *Руководство по функциональной диагностике в кардиологии: современные методы и клиническая интерпретация*. М.: Практическая медицина; 2012. 162 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19563855>.
- Pewsnor D., Ju Ni P., Egger M., Battaglia M., Sundström J., Bachmann L.M. Accuracy of electrocardiography in diagnosis of left ventricular hypertrophy in arterial hypertension: systematic review. *BMJ*. 2007;335:711. <https://doi.org/10.1136/bmj.39276.636354.AE>.
- Weidemann F., Herrmann S., Stork S., Niemann M., Frantz S., Lange V. et al. Impact of myocardial fibrosis in patients with symptomatic severe aortic stenosis. *Circulation*. 2009;120:577–584. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.108.847772>.
- Voigt J.U., Pedrizzetti G., Lysyansky P., Marwick T.H., Houle H., Baumann R. et al. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015;16(1):1–11. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu184>.
- Mitchell C., Rahko P.S., Blauwet L.A., Canaday B., Finstuen J.A., Foster M.C. et al. Guidelines for performing a comprehensive transthoracic echocardiographic examination in adults: recommendations from the american society of echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2019;32(1):1–64. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2018.06.004>.
- Леонов В.П. (ред.). *Как описывать статистику в медицине*. М.: Практическая медицина; 2016. 480 с.
- Biswas A., Roza A., Das S., Kapoor M., Jayarajan R., Verma A. et al. Loss of function mutation in the P2X7, a ligand-gated ion channel gene associated with hypertrophic cardiomyopathy. *Purinergic Signal*. 2019;15(2): 205–210. <https://doi.org/10.1007/s11302-019-09660-7>.

- Elliott P.M., Anastasakis A., Borger M.A., Borggrefe M., Cecchi F., Charron Ph. et al. 2014 ESC Guidelines on diagnosis and management of hypertrophic cardiomyopathy. The Task Force for the Diagnosis and Management of Hypertrophic Cardiomyopathy of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J.* 2014;36(39):2735–2739. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu284>.
- Leontyeva I.V., Makarova V.A. Hypertrophic cardiomyopathy in children. *Rossiyskiy Vestnik Perinatologii i Pediatrii = Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics.* 2013;58(5):23–34. (In Russ.) Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/gipertroficheskaya-kardiomiopatiya-u-detey/viewer>.
- Gutheil H., Lindinger A., Gass M., Hessling G., Singer H. *EKG im Kindes- und Jugendalter.* Stuttgart, Germany: Georg Thieme Verlag KG; 2009.
- Goldberger A.L. *Clinical electrocardiography. A visual approach.* Moscow: GEOTAR-Media; 2009. 328 p. (In Russ.)
- Makarov L.M. *ECG in pediatric care.* 3rd. Moscow: Medpraktika-M; 2013. 696 p. (In Russ.)
- Makarov L.M. *Holter monitoring.* 3rd. Moscow: Medpraktika-M; 2008. 456 p. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19497124>.
- Groznova O.S., Leontyeva I.V., Polyakova A.V. *Current examination methods in patients with hypertrophic cardiomyopathy.* *Rossiyskiy Vestnik Perinatologii i Pediatrii = Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics.* 2014;59(4):24–27. (In Russ.) Available at: <https://www.ped-perinatology.ru/jour/article/view/51>.
- Alekhn M.N. Clinical application of longitudinal systolic deformation indicators in the heart left ventricle. *Kremlevskaya meditsina. Klinicheskiy vestnik = Kremlin Medicine Journal.* 2017;4(4):101–111. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32400424>.
- Galagudza M.M., Domnitskaya T.M., Zelenikin M.M., Kulagina T.Yu., Nikiforov V.S., Sandrikov V.A. (ed.). *Clinical Echocardiography.* 5th ed. Moscow: Logosfera; 2019. 1352 p. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39219498>.
- Pavlyukova E.N., Tereshenkova K.K., Karpov R.S. Global longitudinal and circumferential strain, rotation, twist and untwist of the left ventricle in patients with asymmetric left ventricular hypertrophy. *Sibirskiy zhurnal klinicheskoy i jeksperimental'noy mediciny = The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine.* 2014;29(3):55–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2014-29-3-11-20>.
- Chernykh N.Yu., Groznova O.S., Dovgan M.I., Podolsky V.A. A change in myocardial deformity as an early marker for myocardial dysfunction in children with hypertrophic cardiomyopathy. *Rossiyskiy Vestnik perinatologii i Pediatrii = Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics.* 2016;61(5):70–74. (In Russ.) <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2016-61-5-70-74>.
- de Korte C.L., Nillesen M.M., Saris A.E., Lopata R.G., Thijssen J.M., Kapusta L. New developments in paediatric cardiac functional ultrasound imaging. *J Med Ultrason.* 2014;41(3):279–290. <https://doi.org/10.1007/s10396-013-0513-9>.
- Chumakova O.S., Tipteva T.A., Alekhin M.N., Zateyshchikov D.A. Early systolic dysfunction of left ventricular myocardium is reflected on electrocardiogram of patients with aortic stenosis. *Kardiologiya = Cardiology.* 2015;55(12):42–48. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25133652>.
- Carey M.G., Ponivas S.J., Pelter M.M. Differentiating ST-Segment Strain Pattern from Acute Ischemia. *Am J Crit Care.* 2006;15(3):321–322. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16632776/>.
- Pavlyukova E.N., Kuzhel D.A. Left ventricle torsion in an idiopathic his left bundle branch block. *Rossiyskiy kardiologicheskij zhurnal = Russian Journal of Cardiology.* 2017;7(7):121–124. (In Russ.) <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2017-7-121-124>.
- Ganame J., Mertens L., Eidem B.W., Claus P., D'hooge J., Havemann L.M. et al. Regional myocardial deformation in children with hypertrophic cardiomyopathy: morphological and clinical correlations. *Eur Heart J.* 2007;28(23):2886–2894. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehm444>.
- Vasyuk Yu.A. (ed.). *Manual on functional diagnostics in cardiology: modern methods and clinical interpretation.* Moscow: Practical Medicine; 2012. 162 p. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19563855>.
- Pewsnr D., Ju Ni P., Egger M., Battaglia M., Sundström J., Bachmann L.M. Accuracy of electrocardiography in diagnosis of left ventricular hypertrophy in arterial hypertension: systematic review. *BMJ.* 2007;335:711. <https://doi.org/10.1136/bmj.39276.636354.AE>.
- Weidemann F., Herrmann S., Stork S., Niemann M., Frantz S., Lange V. et al. Impact of myocardial fibrosis in patients with symptomatic severe aortic stenosis. *Circulation.* 2009;120:577–584. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.108.847772>.
- Voigt J.U., Pedrizzetti G., Lysyansky P., Marwick T.H., Houle H., Baumann R. et al. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2015;16(1):1–11. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu184>.
- Mitchell C., Rahko P.S., Blauwet L.A., Canaday B., Finstuen J.A., Foster M.C. et al. Guidelines for performing a comprehensive transthoracic echocardiographic examination in adults: recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2019;32(1):1–64. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2018.06.004>.
- Leonov V.P. (ed.). *How to present statistics in medicine.* Moscow: Practical Medicine; 2016. 480 p. (In Russ.)
- Biswas A., Roza A., Das S., Kapoor M., Jayarajan R., Verma A. et al. Loss of function mutation in the P2X7, a ligand-gated ion channel gene associated with hypertrophic cardiomyopathy. *Purinergic Signal.* 2019;15(2):205–210. <https://doi.org/10.1007/s11302-019-09660-7>.

Информация об авторах:

Черных Надежда Юрьевна, врач-консультант консультативно-диагностического отделения, Научно-исследовательский клинический институт педиатрии имени академика Ю.Е. Вельтищева; 125412, Россия, Москва, ул. Талдомская, д. 2; chernykh-nauka@mail.ru
Тарасова Алла Алексеевна, д.м.н., профессор, профессор кафедры лучевой диагностики детского возраста, Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования; 125993, Россия, Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1; tarasova-aa@yandex.ru
Грознова Ольга Сергеевна, д.м.н., ведущий научный сотрудник отдела детской кардиологии и аритмологии, Научно-исследовательский клинический институт педиатрии имени академика Ю.Е. Вельтищева; 125412, Россия, Москва, ул. Талдомская, д. 2; ogroznova@gmail.com
Шигабеев Илья Маратович, магистрант кафедры инженерной кибернетики, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»; 119049, Россия, Москва, Ленинский проспект, д. 4; beat@live.ru

Information about the authors:

Nadezhda Yu. Chernykh, Consultant Physician of the Consultative and Diagnostic Unit, Veltischev Research and Clinical Institute for Pediatrics; 2, Taldomskaya St., Moscow, 125412, Russia; chernykh-nauka@mail.ru
Alla A. Tarasova, Dr. Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Pediatric Radiological Diagnostics, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education; 2/1, Bldg. 1, Barrikadnaya St., Moscow, 125993, Russia; tarasova-aa@yandex.ru
Olga S. Groznova, Dr. Sci. (Med.), Leading Researcher of the Department of Pediatric Cardiology and Arrhythmology, Veltischev Research and Clinical Institute for Pediatrics; 2, Taldomskaya St., Moscow, 125412, Russia; ogroznova@gmail.com
Ilya M. Shigabeev, Graduate Student of the Department of Engineering Cybernetics, National University of Science and Technology "MISIS"; 4, Leninskiy Prospekt, Moscow, 119049, Russia; beat@live.ru