

Сравнение КТ- и ЭхоКГ-диагностических критериев компрессии сердца у детей с воронкообразной деформацией грудной клетки

И.А. Комолкин, Н.Ф. Прийма, П.К. Яблонский, Г.Д. Витенберг

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии

Comparison of CT- and ECHOCG-diagnostic criteria of cardiac compression in children with pectus excavatum

I. Komolkin, N. Priima, P. Yablonskiy, G. Vitenberg

St. Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology

© Коллектив авторов, 2026 г.

Резюме

Воронкообразная деформация грудной клетки (ВДГК) — порок развития, проявляющийся разнообразным по форме западением грудины и хрящевых отделов ребер. Данная патология отрицательно влияет на функцию сердечно-сосудистой системы. Большое значение в выборе показаний к хирургическому лечению ВДГК имеет эхокардиографическое исследование (ЭхоКГ). В отличие от компьютерной томографии (КТ), ЭхоКГ не несет лучевой нагрузки и позволяет диагностировать непосредственные изменения анатомии сердечных полостей и внутрисердечных потоков. **Цель исследования:** выявить признаки компрессионного воздействия на сердце со стороны грудино-реберного комплекса у пациентов с ВДГК при помощи КТ и ЭхоКГ. **Материалы и методы.** В исследование включены 25 пациентов в возрасте от 2 до 18 лет. Индекс Халлера (ИХ) у обследованных пациентов составлял от 2,2 до 11,7. Угол ротации грудины (УРГ) от 0 до 19°. Индекс асимметрии грудной клетки (ИАГК) 80–99%. КТ и ЭхоКГ проводились за 10–14 дней перед плановым хирургическим вмешательством на грудной клетке. **Результаты.** Установлена связь между увеличением ИХ по данным КТ со степенью выраженности ЭхоКГ-критериев компрессии сердца. Наибольшие значения ИАГК отмечены в группе пациентов с малыми ЭхоКГ-признаками компрессии. Убедительных данных

взаимосвязи изменения УРГ, по данным КТ-исследования, с ЭхоКГ-признаками компрессии выявлено не было. **Заключение.** Увеличение показателя ИХ от 3,6 до 11,7 у детей с ВДГК положительно коррелирует с ЭхоКГ-показателями компрессионного воздействия на сердечные структуры со стороны грудино-реберного комплекса. Результаты КТ-исследования пациентов позволяют определить степень ВДГК, а также диагностировать компрессию сердца, однако более информативные данные о компрессии можно получить при рутинной трансторакальной ЭхоКГ.

Ключевые слова: воронкообразная деформация грудной клетки, компрессия сердца, эхокардиография, компьютерная томография

Summary

Pectus Excavatum (PE) is a developmental defect characterized by various forms of sunken sternum and cartilaginous ribs. This pathology has a negative effect on the function of the cardiovascular system. Echocardiographic examination (ECHOCG) is of great importance in choosing indications for surgical treatment of PE. Unlike computed tomography (CT), ECHOCG does not carry a radiation load and allows diagnosing direct changes in the anatomy of the heart cavities and intracardiac flows. **The aim of the study** was to identify signs of compression effects on

the heart from the sternocostal complex in patients with PE using CT and echocardiography. **Materials and methods.** The study included 25 patients aged 2 to 18 years. The Haller index (HI) in the examined patients ranged from 2.2 to 11.7. The angle of rotation of the sternum from 0 to 19 degrees. The index of asymmetry of the chest (IACH) was 80–99%. CT and ECHO CG were performed 10–14 days before the planned chest surgery. **Results.** A relationship was established between the increase in the HI according to CT data and the severity of ECHO CG criteria of cardiac compression. The highest values of the IACH were noted in the group of patients with minor ECHO CG signs of compression. No convincing data on the relationship be-

tween changes in the sternum rotation angle, according to CT data, and ECHO CG signs of compression were found. **Conclusion.** An increase in the HI from 3.6 to 11.7 in children with CP positively correlates with ECHO CG indicators of compression effect on the cardiac structures from the sternocostal complex. The results of CT examination of patients allow us to determine the degree of CP, as well as suspect the presence of cardiac compression, however, more informative data on compression can be obtained with routine transthoracic ECHO CG.

Keywords: pectus excavatum, cardiac compression, echocardiography, computed tomography

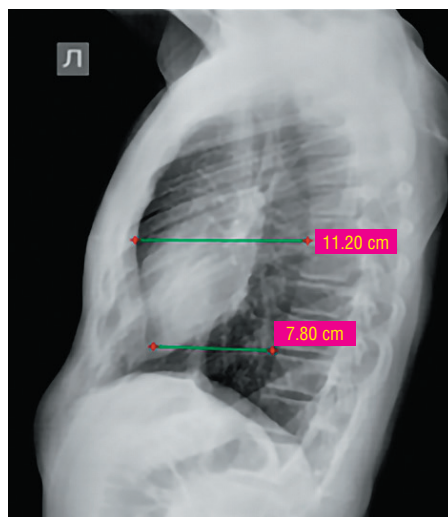
Введение

Воронкообразная деформация грудной клетки представляет собой порок развития, проявляющийся разнообразным по форме западением грудины и хрящевых отделов ребер [1]. Большинство авторов считают, что ВДГК является наиболее часто встречающейся врожденной деформацией грудино-реберного комплекса (ГРК) и составляет более 90% всех врожденных деформаций ГРК. У мальчиков ВДГК встречается в 3 раза чаще, чем у девочек (рис. 1, а). Большинство современных отечественных и зарубежных авторов считают, что в основе заболевания лежат генетические факторы, приводящие к диспластическим изменениям хрящевых и соединительнотканых структур скелета грудной клетки [2, 3]. Помимо выраженного косметического дефекта, данная патология отрицательно влияет на функцию сердечно-сосудистой и дыхательной систем [4–8]. За последние десятилетия в лечении данной

патологии успешно применялись как консервативные, так и хирургические методы. Наибольшее распространение получил метод малоинвазивной торакопластики, предложенный Дональдом Нассом в 1987 г. [9–11]. В настоящее время имеется множество сторонников как консервативных, так и хирургических методов лечения данной патологии, поэтому одним из факторов, определяющих предстоящее лечение, является своевременная и информативная диагностика функции сердечно-сосудистой и дыхательной систем [4–7, 12, 13]. В работах многих отечественных и зарубежных авторов, посвященных данной тематике, большое внимание обращается на состояние сердечно-сосудистой системы у пациентов с ВДГК [4–7, 13]. Появляются публикации о различных нарушениях сердечного ритма и проводимости, компрессии сердца и крупных сосудов у пациентов с ВДГК. Однако единой концепции, объясняющей механизм компрессионного воздействия на сердце со стороны грудино-реберного комплекса, нет [14].



а



б

Рис. 1. а — Воронкообразная деформация грудной клетки (ВДГК) у пациента 15 лет с синдромом Марфана; б — определение степени ВДГК методом Гижицкой на рентгенограмме грудной клетки в боковой проекции

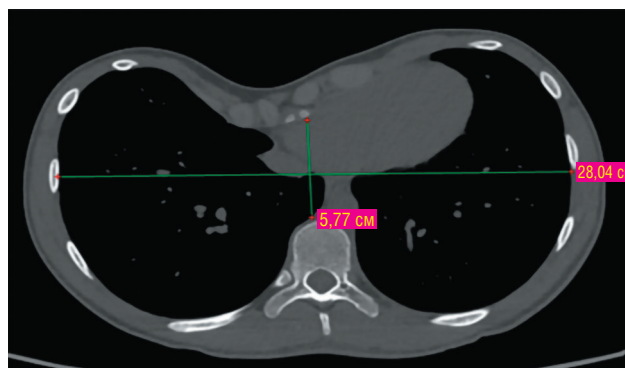
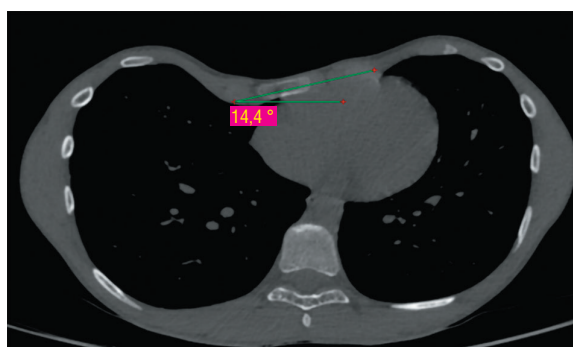
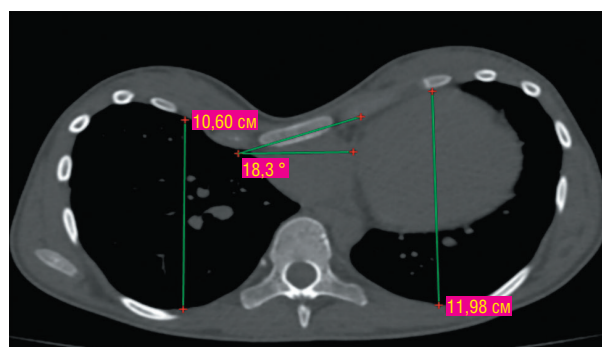


Рис. 2. Компьютерная томограмма. Пример определения индекса Халлера



а



б

Рис. 3. Компьютерные томограммы: а — пример расчета угла ротации грудины; б — пример расчета индекса асимметрии грудной клетки

На протяжении нескольких десятилетий для определения степени ВДГК использовали индекс Гижицкой (ИГ) [15, 16]. Данный метод прост и удобен, все расчеты производятся по боковой рентгенограмме грудной клетки пациента путем измерения наименьшего и наибольшего расстояния между передней поверхностью позвоночника и задней поверхностью грудины (рис. 1, б). Произведя деление меньшего значения на большее, получают степень ВДГК. Значение коэффициента 0,8 и более соответствует 1 степени; 0,8–0,5 — 2 степени; 0,5 и менее — 3 степени.

При внедрении в клиническую практику диагностических методов компьютерной томографии в 1987 г. был предложен индекс Халлера (ИХ) [17, 18]. Его значение представляет собой частное поперечного расстояния между внутренними поверхностями ребер и расстояния между задней пластиной грудины и телами позвонков на вершине деформации (рис. 2). Стало общепризнанным, что значения ИХ более 3,25 являются показанием к хирургическому лечению.

Дополнительными и не менее ценными диагностическими критериями для определения показаний к оперативному лечению ВДГК стали лучевые индексы: УРГ, ИАГК (рис. 3) [18–20].

Большое значение в выборе показаний к хирургическому лечению ВДГК имеет рутинное трансторакальное ЭхоКГ-исследование, выполняемое по стандартным

методикам. В отличие от КТ, ультразвуковое исследование не несет лучевой нагрузки и позволяет диагностировать непосредственные изменения анатомии сердечных полостей и внутрисердечных потоков [14].

Цели и задачи исследования

Выявить признаки компрессионного воздействия на сердце со стороны ГРК у пациентов с ВДГК путем ЭхоКГ. На основании данных КТ грудной клетки у детей с ВДГК рассчитать лучевые индексы деформации грудной клетки (ИХ, ИАГК, УРГ). Определить эффективность каждого метода исследования в выборе показаний к хирургическому лечению ВДГК.

Материалы и методы исследования

В исследовании приняли участие 25 детей в возрасте от 2 до 18 лет (средний возраст $13 \pm 2,6$ года), 20 мальчиков и 5 девочек с ВДГК (I–III степени). ИХ у детей, включенных в исследование, находился в пределах от 2,2 до 11,7. УРГ от — 0 до 19°. ИАГК — 80–99%. Всем детям выполнена торакопластика по Nuss в модификации И.А. Комолкина и соавт. (2012) [21]. КТ и трансторакальная эхокардиография (ТТЭхоКГ) проводились по стандартным методикам за 10–14 дней перед плановым хирургическим вмешательством на грудной клетке. В исследовании использовались ультразвуковой

сканер Canon (Toshiba) Aplio a 550 и компьютерные томографы Aquilion 32 и Aquilion Prime Toshiba).

Результаты

По степени выраженности компрессионного воздействия на сердце со стороны ГРК по данным ЭхоКГ были выделены три группы пациентов. В первой группе, состоявшей из 6 человек, отмечались «малые» ЭхоКГ-признаки компрессии. К ним были отнесены следующие изменения.

1. Расширение листков перикарда в области верхушки правого желудочка (ПЖ) (рис. 4).
2. Доминирование апикальных сегментов ПЖ над левыми в области верхушки сердца в левой парастернальной позиции по длинной оси левого желудочка (рис. 5).
3. Уменьшение диастолического размера ПЖ сердца в левой парастернальной позиции по длинной оси ЛЖ (рис. 6).

Следующая группа была представлена 11 пациентами. У детей этой группы, помимо «малых» ЭхоКГ-признаков компрессии, были отмечены умеренно выраженные признаки сдавления сердца, отражающиеся в изменении анатомических форм сердечных структур и показателей внутрисердечной гемодинамики.

1. Деформация (изменение геометрии) приточного отдела ПЖ по типу «гантелеобразной» слева и «грушеобразной» справа, визуализированные из 4-камерной апикальной позиции (рис. 7).

2. Увеличение скоростных характеристик транстрикуспидального потока. Стандартный режим доплерографии транстрикуспидального потока в импульсном режиме определяет показатель 105 см/с, превышающий норматив (рис. 8).

3. Изменение геометрических форм предсердий. Эхограммы выполнены из 4-камерной апикальной позиции (рис. 9).

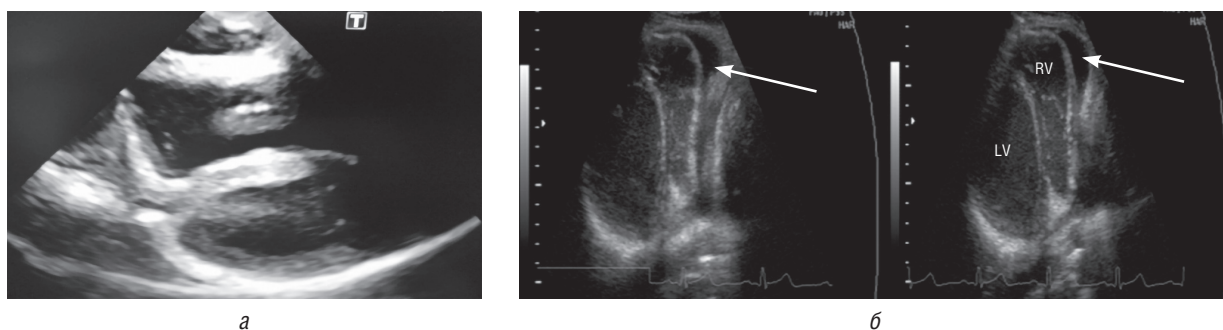


Рис. 4. *а* — Появление перикардальных «карманов», выражающееся в расширении листков перикарда над правым желудочком (ПЖ) сердца в левой парастернальной позиции по длинной оси левого желудочка (ЛЖ); *б* — появление перикардальных «карманов», выражающееся в расширении листков перикарда в области верхушки ПЖ сердца в 4- и 2-камерных апикальных позициях (отмечено стрелками)

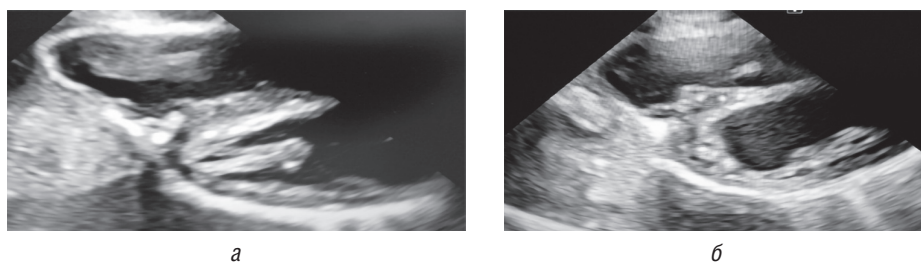


Рис. 5. Доминирование правого желудочка сердца над левым в области верхушки (*а, б*). Эхокардиограммы выполнены из парастернальной позиции по длинной оси левого желудочка

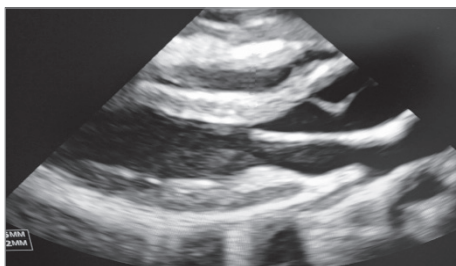


Рис. 6. Отчетливо видимое уменьшение диастолического размера выносящего тракта правого желудочка сердца. Эхокардиограмма выполнена из левой парастернальной позиции по длинной оси левого желудочка

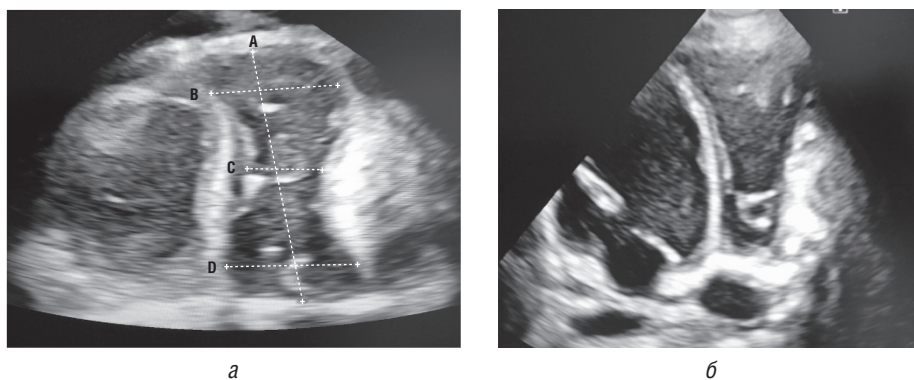


Рис. 7. *а* — Деформация приточного отдела правого желудочка по типу «гантелеобразной»; *б* — деформация приточного отдела правого желудочка по типу «грушеобразной»

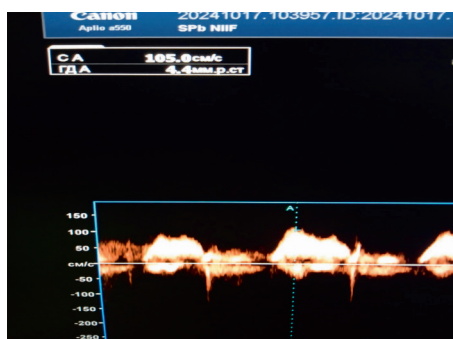


Рис. 8. Импульсная доплерография транстрикуспидального потока из 4-камерной апикальной позиции

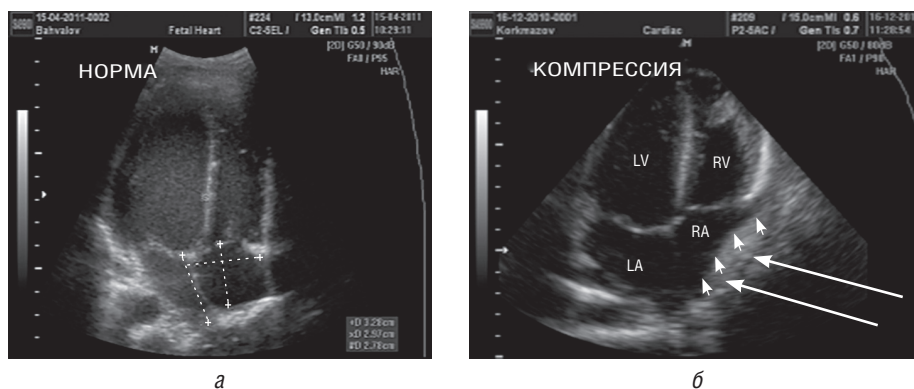


Рис. 9. *а* — Эхокардиограмма полостей сердца без деформации; *б* — изменение геометрической формы правого предсердия за счет компрессионного воздействия отмечено стрелками

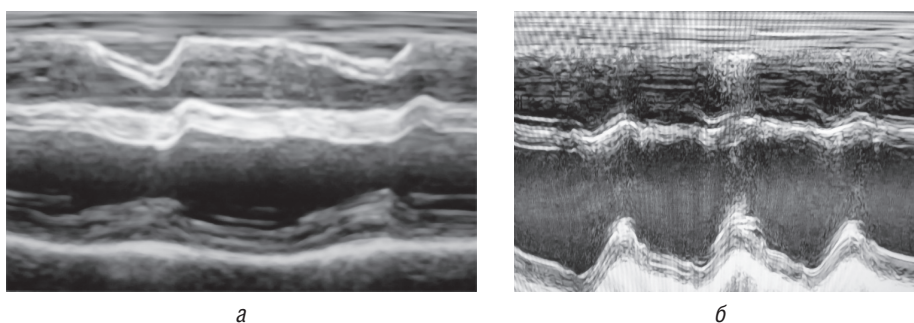


Рис. 10. Выраженное несовпадение систолических и диастолических экскурсий миокарда свободной стенки правого желудочка, межжелудочковой перегородки и задней стенки левого желудочка сердца (*а, б*)

Третья группа состояла из 8 детей. Помимо малых и умеренно выраженных проявлений компрессии, у пациентов этой группы были отмечены выраженные признаки компрессионного воздействия на миокард со стороны ГРК.

1. Развитие асинхронизма кинетики миокарда ПЖ и ЛЖ сердца, зарегистрированные из левой парастеральной позиции по длинной оси ЛЖ (рис. 10).

2. Снижение показателей систолической экскурсии кольца трикуспидального клапана (TAPSE). TAPSE определяется измерением расстояния систолической экскурсии трикуспидального кольца в продольном направлении из 4-камерной апикальной позиции (рис. 11).

Данные ЭхоКГ-исследований и КТ были сведены в таблицу (табл. 1).

Выполнено сравнение эхокардиографических параметров сердца у детей с ВДГК 2 и 3 степени при помощи U-критерия Манна–Уитни. По большинству параметров различия оказались статистически значимыми. На основании вышеперечисленного можно подтвердить достоверность зависимости компрессии сердца

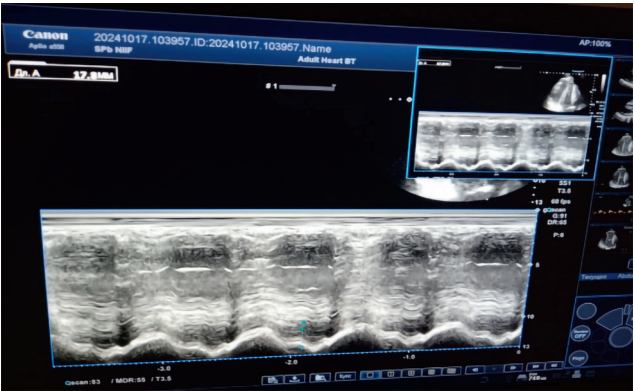


Рис. 11. Снижение показателей систолической экскурсии кольца трикуспидального клапана (норма ≥ 17 мм)

от степени воронкообразной деформации грудной клетки (табл. 2).

По результатам ЭхоКГ, у 6 пациентов выявлена деформация приточного отдела ПЖ по «гантелеобразному» типу, у 6 пациентов — деформация приточного отдела ПЖ по «грушеобразному» типу, у 4 пациентов — поддавленность верхушки ПЖ. У 1 пациента была выявлена компрессия, выражающаяся в изменении геометрических форм обоих предсердий без гемодинамических нарушений. У 1 пациента были выявлены признаки компрессии со стороны ГРК, выражающиеся в асинхронизме кинетики миокарда межжелудочковой перегородки и задней стенки ЛЖ.

Среднее значение ИХ у пациентов с деформацией приточного отдела ПЖ по «гантелеобразному» типу составило 4,8, у приточного отдела ПЖ по «грушеобразному» типу — 5,51, у пациентов, у которых была выявлена поддавленность верхушки ПЖ, — 3,725.

У пациента с компрессией, выражающейся в изменении геометрических форм обоих предсердий без гемодинамических нарушений, ИХ составил 7,5, у пациента с признаками компрессии со стороны ГРК, выражающейся в асинхронизме кинетики миокарда межжелудочковой перегородки и задней стенки ЛЖ, — 5,1 (рис. 12).

Полученные данные отчетливо свидетельствуют о положительной корреляции увеличения ИХ, по данным КТ-исследования, со степенью выраженности ЭхоКГ-критериев компрессии сердца. Наибольшие значения ИАГК отмечены в группе пациентов с малыми (начальными) ЭхоКГ-признаками компрессии. Можно предположить, что выраженная асимметричная деформация грудной клетки в большей степени приводит к оттеснению, смещению сердечных структур, чем к их сдавлению. Убедительных данных взаимосвязи изменения УРГ, по данным КТ-исследования, с ЭхоКГ-признаками компрессии выявлено не было.

Таблица 1

Сравнение КТ- и ЭхоКГ-диагностических критериев компрессии сердца у детей с воронкообразной деформацией грудной клетки

Малые ЭхоКГ-признаки компрессии	Умеренно выраженные ЭхоКГ-признаки компрессии	Большие (значительные) ЭхоКГ-признаки компрессии
6 пациентов	11 пациентов	8 пациентов
1. Появление перикардиальных «карманов». 2. Доминирование правого желудочка над левым в области верхушки сердца. 3. Уменьшение диастолического размера выносящего тракта правого желудочка	1. Деформация (изменение геометрии) приточного отдела правого желудочка сердца. 2. Ускорение транстрикуспидального потока. 3. Изменение геометрических форм предсердий	1. Развитие асинхронизма кинетики миокарда левого желудочка сердца. 2. Снижение показателей систолической экскурсии кольца трикуспидального клапана (TAPSE)
Индекс Халлера 3,6–3,8	Индекс Халлера 3,3–11,0	Индекс Халлера 4,9–11,7
Индекс асимметрии грудной клетки 92–99%	Индекс асимметрии грудной клетки 80–98%	Индекс асимметрии грудной клетки 84–95%
Угол ротации грудины 0–19°	Угол ротации грудины 2–18°	Угол ротации грудины 5–18°

Таблица 2

Сравнение эхокардиографических параметров сердца у детей с воронкообразной деформацией грудной клетки (ВДГК) 2 и 3 степени

Показатель	Диагноз		p
	ВДГК 2 степени	ВДГК 3 степени	
Аорта. Диаметр фиброзного кольца, М (SD)	27,36 (4,08)	23,14 (6,87)	0,119
Диаметр левого предсердия, М (SD)	28,27 (2,94)	21,29 (3,86)	<0,001*
Левое предсердие, индекс площади к поверхности тела, см/м ² , Ме [IQR]	15,66 [15,05; 17,90]	21,97 [15,44; 25,25]	0,258
Объем левого предсердия, М (SD)	30,64 (10,13)	17,71 (7,80)	0,011*
Левое предсердие, индекс площади к поверхности тела, мл/м ² , М (SD)	17,49 (3,45)	15,56 (1,97)	0,197
Конечно-диастолический размер левого желудочка, М (SD)	45,45 (4,87)	37,57 (6,50)	0,010*
Индекс левого желудочка, см/м ² , М (SD)	27,21 (4,98)	37,20 (12,84)	0,032*
Конечно-систолический размер левого желудочка, М (SD)	28,45 (3,53)	23,29 (4,54)	0,015*
Конечно-диастолический объем, М (SD)	97,64 (23,53)	64,29 (26,31)	0,013*
Индекс левого желудочка, мл/м ² , М (SD)	57,21 (11,11)	58,03 (9,79)	0,876
Конечно-систолический объем левого желудочка, М (SD)	32,09 (9,03)	20,57 (10,08)	0,023*
Ударный объем левого желудочка, М (SD)	65,55 (15,21)	43,71 (17,04)	0,012*
Фракция выброса левого желудочка, М (SD)	67,27 (3,00)	68,29 (5,62)	0,623
Межжелудочковая перегородка левого желудочка, Ме [IQR]	0,74 [0,70; 0,76]	0,60 [0,53; 0,68]	0,062
Задняя стенка левого желудочка, Ме [IQR]	0,76 [0,72; 0,77]	0,60 [0,53; 0,69]	0,036*
Масса миокарда левого желудочка, Ме [IQR]	95,00 [78,00; 101,50]	70,00 [51,00; 88,00]	0,174
Индекс массы миокарда левого желудочка, Ме [IQR]	49,74 [47,84; 56,70]	60,63 [54,86; 64,43]	0,143
Увеличение правого предсердия, М (SD)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	nan
Объем правого предсердия, М (SD)	27,09 (13,46)	16,43 (6,85)	0,072
Индекс правого предсердия, мл/м ² , Ме [IQR]	16,20 [14,27; 20,65]	14,62 [12,87; 16,02]	0,189
TAPSE правого предсердия, Ме [IQR]	19,00 [16,50; 22,50]	16,00 [13,50; 17,50]	0,122
Расширение правого желудочка, М (SD)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	nan
Конечно-диастолический размер правого желудочка, М (SD)	21,36 (4,61)	18,57 (1,27)	0,081
Свободная стенка правого желудочка, Ме [IQR]	4,00 [3,00; 4,00]	3,00 [3,00; 3,50]	0,246
Наличие компрессии, Ме [IQR]	2,00 [2,00; 3,00]	1,00 [1,00; 2,00]	0,152
Индекс Жижицкой, Ме [IQR]	0,79 [0,70; 0,80]	0,60 [0,53; 0,60]	0,002*

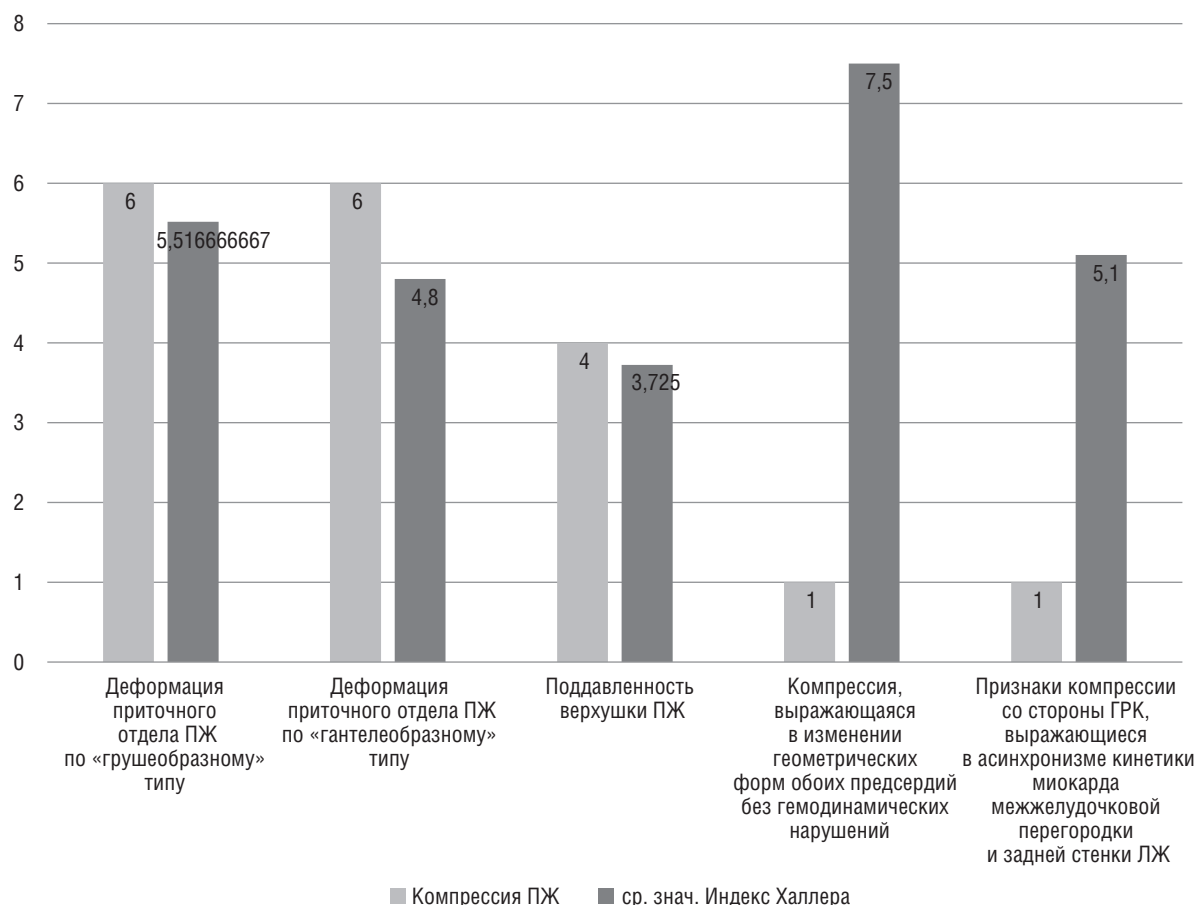


Рис. 12. Структура типов компрессии правого желудочка в соотношении с индексом Халлера

Таблица 3

Структура типов компрессии правого желудочка в соотношении с индексом Халлера

Вид компрессии	Компрессия правого желудочка	Среднее значение индекса Халлера
Деформация приточного отдела по «грушеобразному» типу	6	5,516666667
Деформация приточного отдела по «гантелеобразному» типу	6	4,8
Поддавленность верхушки правого желудочка	4	3,725
Компрессия, выражающаяся в изменении геометрических форм обоих предсердий без гемодинамических нарушений	1	7,5
Признаки компрессии со стороны грудино-реберного комплекса, выражающиеся в асинхронизме кинетики миокарда межжелудочковой перегородки и задней стенки левого желудочка	1	5,1

Выводы

ЭхоКГ-критерии компрессии сердца у детей с ВДГК представлены изменением геометрических форм его полостей, преимущественно правых отделов сердца, нарушением кинетики внутрисердечных структур, изменением скоростных характеристик внутрисердечных потоков, снижением контрактильной функции.

Увеличение показателя ИХ от 3,6 до 11,7 у детей с ВДГК положительно коррелирует с ЭхоКГ-показателями компрессионного воздействия на сердечные структуры со стороны ГРК.

Результаты КТ-исследования пациентов позволяют определить степень ВДГК, а также заподозрить наличие компрессии сердца, но более информативные данные о компрессии можно получить при рутинной ТТЭхоКГ.

Список литературы

1. Разумовский А.Ю., Алхасов А.Б., Разин М.П., Аксельров М.А. и др. Сравнительная характеристика эффективности различных способов оперативного лечения воронкообразной деформации грудной клетки у детей: мультицентровое исследование. Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста 2018; 6 (1): 5–13. [Razumovskii A.Ju., Alhasov A.B., Razin M.P., Aksel'rov M.A. et al. Comparative characteristics of the effectiveness of various methods of surgical treatment of funnel chest deformity in children: a multicenter study. Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naja hirurgiya detskogo vozrasta 2018; 6 (1): 5–13 (In Russ.)].
2. Нечаева Г.И. Недифференцированные дисплазии соединительной ткани. Избранные лекции по терапии 2021: 65. [Nechaeva G.I. Undifferentiated connective tissue dysplasia. Izbrannye lektsii po terapii 2021: 65 (In Russ.)].
3. Cruz-Centeno N., Saenz-Maisonet J.F., López-Dones P.M., Santiago-Cornier A., Ortiz-Justiniano V.N. Mutations in COL1A1 and COL27A1 Associated with a Pectus Excavatum Phenotype in 2 Siblings with Osteogenesis Imperfecta. Am. J. Case Rep. 2022 May 18; 23: e935526. doi: 10.12659/AJCR.935526. PMID: 35581901; PMCID: PMC9125528.
4. Jang Y.E., Park J.B., Kang C.H., Park S., Kim E.H., Lee J.H., Kim H.S., Kim J.T. Cardiopulmonary resuscitation in pediatric pectus excavatum patients-Where is the heart? Paediatr. Anaesth 2020 Jun; 30 (6): 698–707. doi: 10.1111/pan.13878. Epub 2020 May 16. PMID: 32298510.
5. Sonagliani A., Nicolosi G.L., Braga M., Villa M.C., Migliori C., Lombardo M. Does chest wall conformation influence myocardial strain parameters in infants with pectus excavatum? J. Clin. Ultrasound 2021 Nov; 49 (9): 918–928. doi: 10.1002/jcu.23064. Epub 2021 Sep 15. PMID: 34523718.
6. Jang Y.E., Park J.B., Kang C.H., Park S., Kim E.H., Lee J.H., Kim H.S., Kim J.T. Cardiopulmonary resuscitation in pediatric pectus excavatum patients-Where is the heart? Paediatr. Anaesth. 2020 Jun; 30 (6): 698–707. doi: 10.1111/pan.13878. Epub 2020 May 16. PMID: 32298510.
7. Laín A., Giralt G., Giné C., García Martínez L., Villaverde I., López M. Transesophageal echocardiography during pectus excavatum correction in children: What happens to the heart? J. Pediatr. Surg. 2021 May; 56 (5): 988–994. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2020.06.009. Epub 2020 Jun 12. PMID: 32660778.
8. Комолкин И.А., Мушкин А.Ю., Ульрих Э.В. Врожденные пороки развития грудной клетки: трехплоскостная модель, классификация и количественная оценка (новый подход к тактической систематизации патологии). Медицинский альянс 2019; 7 (3): 57–65. [Komolkin I.A., Mushkin A.Ju., Ul'rih Je.V. Congenital malformations of the chest: a three-plane model, classification and quantitative assessment (a new approach to the tactical systematization of pathology). Medicinskij al'jans 2019; 7 (3): 57–65 (In Russ.)].
9. Notrica D.M. The Nuss procedure for repair of pectus excavatum: 20 error traps and a culture of safety. Semin Pediatr Surg 2019 Jun; 28 (3): 172–177. doi: 10.1053/j.sempedsurg.2019.04.020. Epub 2019 Apr 25. PMID: 31171153.
10. Sakamoto Y., Yokoyama Y., Nagasao T., Yamada Y., Yamada M., Jinzaki M., Kishi K. Outcomes of the Nuss procedure for pectus excavatum in adults. J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg. 2021 Sep; 74 (9): 2279–2282. doi: 10.1016/j.bjps.2020.12.068. Epub 2020 Dec 27. PMID: 33455870.
11. de Loos E.R., Daemen J.H.T., Pennings A.J., Heuts S., Maessen J.G., Hulswé K.W.E., Vissers Y.L.J. Minimally invasive repair of pectus excavatum by the Nuss procedure: The learning curve. J. Thorac. Cardiovasc Surg 2022 Mar; 163 (3): 828–837. e4. doi: 10.1016/j.jtcvs.2020.11.154. Epub 2020 Dec 10. PMID: 33478832.
12. Моторенко Н.В., Титова Н.Д., Винник А.В. Кардиореспираторные нарушения у пациента с воронкообразной деформацией грудной клетки: разбор клинического случая 2023. [Motorenko N. V., Titova N.D., Vinnik A.V. Cardiorespiratory dysfunction in a patient with pectus excavatum: a clinical case analysis 2023 (In Russ.)].
13. Dreher C., Reinsberg M., Oetzmans von Sochaczewski C., Siebert S., Strohm J., Kurz R., Ziegler A.M., Heydweiller A., Yavuz S.T. Changes in Pulmonary Functions of Adolescents with Pectus Excavatum Throughout the Nuss Procedure. J. Pediatr Surg. 2023 Sep; 58 (9): 1674–1678. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2023.02.057. Epub 2023 Feb 28. PMID: 36935229.
14. Farina J.M., Jaroszewski D.E., Arsanjani R., Naqvi T.Z., Aly M.R., Freeman W.K., Larsen C.M., Marcotte F., Lester S.J., Chaliki H.P., Narayanasamy H., Wilansky S., Appleton C.P. Improved Right Ventricular Diastolic Function Assessed by Hepatic Vein Flow After Pectus Excavatum Repair. Ann. Thorac. Surg. Short Rep. 2023 Feb 27; 1 (2): 226–230. doi: 10.1016/j.atssr.2023.02.009. PMID: 39790315; PMCID: PMC11708325.
15. Моторенко Н.В., Винник А.В. Воронкообразная деформация грудной клетки у детей. Проблемы здоровья и экологии 2022; 19 (1): 47–54. [Motorenko N.V., Vinnik A.V. Funnel chest deformity in children. Problemy zdorov'ja i ekologii 2022; 19 (1): 47–54 (In Russ.)].
16. Хаспеков Д.В. Сравнительный анализ хирургических методов лечения воронкообразной деформации грудной клетки у детей и подростков: дис. ... к. м. н. Москва, 2021. [Haspekov D.V. Comparative analysis of surgical methods for treating funnel chest deformity in children and adolescents: dis. k. m. n. Moscow, 2021 (In Russ.)].
17. Zeineddine R.M., Botros M., Shawwaf K.A., Moosavi R., Aly M.R., Farina J.M., Lackey J.J., Sandstrom B.A., Jaroszewski D.E. Does a high Haller index influence outcomes in pectus excavatum repair? J. Thorac. Cardiovasc Surg. 2024 Nov; 168 (5): 1395–1402. doi: 10.1016/j.jtcvs.2024.04.005. Epub 2024 Apr 10. PMID: 38608864.
18. Vincenzo de Paoli F., Media A.S., Juhl-Olsen P., Katballe N., Vad H., Petersen R.H., Højsgaard A., Christensen TD. High haller index and outcomes in pectus excavatum repair: What to believe in this matter? J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 2024 Nov; 168 (5): e176–e177. doi: 10.1016/j.jtcvs.2024.05.001. Epub 2024 Jun 6. PMID: 38842953.
19. Эльнур А.А. и др. Минимально инвазивная коррекция асимметричной деформации грудной клетки у детей. Детская хирургия 2021; 25 (1): 44–50 [Jel'nur A.A. et al. Minimally invasive correction of asymmetric chest deformities in children. Detskaja hirurgija 2021; 25 (1): 44–50 (In Russ.)].
20. Моторенко Н.В. Роль компьютерной томографии в диагностике воронкообразной деформации грудной клетки у детей. Рекомендовано редакционно-издательским советом ГрГМУ (протокол № 14 от 24.11 2023) 2024: 177. [Motorenko N.V. The role of computed tomography in the diagnosis of funnel chest deformity in children. Rekomendovano redakcionno-izdatel'skim sovetom GrGMU (protokol № 14 ot 24.11 2023) 2024: 177 (In Russ.)].
21. Патент на полезную модель № 112617 U1 Российская Федерация, МПК А61В 17/68, А61В 17/80. пластина для стабилизации грудино-реберного комплекса: № 2011131203/14: заявл. 26.07.2011: опубл. 20.01.2012 / И.А. Комолкин, И.А. Комиссаров, А.П. Афанасьев; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургская государственная педиатрическая медицинская академия» Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации

(ГОУ ВПО СПбГПМА Минздравсоцразвития России). [Patent na poleznuju model' № 112617 U1 Rossijskaja Federacija, MPK A61B 17/68, A61B 17/80. plastina dlja stabilizacii grudino-reber-nogo kompleksa: № 2011131203/14: zjavl. 26.07.2011: opubl 20.01.2012 / I.A. Komolkin, I.A. Komissarov, A. P. Afanas'ev; za-

javitel' Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija «Sankt-Peterburgskaja gosudarstvennaja pediatričeskaja medicinskaja akademija» Ministerstva zdavoohranenija i social'nogo razvitija Rossijskoj Federacii (GOU VPO SPbGPMa Minzdravsocrazvitija Rossii) (In Russ.)].

Поступила в редакцию: 06.05.2026 г.

Сведения об авторах:

Комолкин Игорь Александрович — доктор медицинских наук, врач травматолог-ортопед, ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории «Торакальная ортопедия» ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: igor_komolkin@mail.ru; ORCID 0000-0002-0021-9008;

Прийма Николай Федорович — кандидат медицинских наук, врач-кардиолог, старший научный сотрудник лаборатории «Торакальная ортопедия» ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: nikpriima@rambler.ru; ORCID 0000-0002-0910-3765;

Яблонский Петр Казимирович — доктор медицинских наук, профессор, директор ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036; Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: info@spbniif.ru; ORCID 0000-0003-4385-9643;

Витенберг Григорий Дмитриевич — клинический ординатор, лаборант-исследователь лаборатории «Торакальная ортопедия» ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: vitenberg.grigory@yandex.ru; ORCID 0000-0001-9458-4905.