УДК 616.712-007.24-053.2+616-073.756.8
https://doi.org/10.56871/ViM.2025.79.72.002

Лучевая диагностика воронкообразной деформации грудной клетки у детей

Арина Александровна Дерягина, Дамир Асиятович Малеков,
Каринэ Константиновна Панунцева, Наталья Викторовна Марченко,
Александр Владимирович Поздняков, Ольга Федоровна Позднякова,
Кирилл Петрович Дроботов, Майя Михайловна Гребенюк

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация

Контактная информация: Арина Александровна Дерягина — ординатор кафедры медицинской биофизики и физики. E-mail: arinaderyagina@bk.ru; https://orcid.org/0009-0006-6239-7084

Для цитирования: Дерягина А.А., Малеков Д.А., Панунцева К.К., Марченко Н.В., Поздняков А.В., Позднякова О.Ф., Дроботов К.П., Гребенюк М.М. Лучевая диагностика воронкообразной деформации грудной клетки у детей. *Визуализация в медицине***.** 2025;7(3):20–26. https://doi.org/10.56871/ViM.2025.79.72.002.

Поступила: 20.08.2025 **Одобрена: 13.10.2025** **Принята к печати: 18.11.2025**

Резюме. Первое место по распространенности среди врожденных аномалий передней грудной стенки занимает воронкообразная деформация грудной клетки, которая представляет собой не только эстетическую, но и медико-социальную проблему, требующую мультидисциплинарного подхода. При выраженных формах деформация может привести к респираторным, кардиальным нарушениям, изменениям со стороны работы желудочно-кишечного тракта, а также формированию вторичных осложнений, таких как нарушения осанки по типу кифоза или сколиоза, и серьезным психологическим проблемам, связанным с качеством жизни. Роль лучевой диагностики в этом случае ключевая и незаменима на всех этапах — от первичной оценки до послеоперационного контроля, так как именно комплекс методов, включающий рентгенографию, компьютерную томографию и магнитно-резонансную томографию, позволяет не только визуализировать дефект, но и количественно определить его выраженность с помощью расчета индекса Халлера, индекса коррекции и угла наклона грудины, объективно оценить степень компрессионного воздействия на органы средостения, сердце, магистральные сосуды и легочную паренхиму, обнаружить сопутствующую патологию, точно составить индивидуальный план предстоящей хирургической коррекции, выбрать оптимальный размер и модель имплантата, а в дальнейшем осуществить полноценный послеоперационный мониторинг для оценки правильности положения установленной пластины, консолидации костных структур, устранения компрессии внутренних органов и раннего выявления возможных осложнений, таких как миграция конструкции или рецидив деформации.

Ключевые слова: воронкообразная деформация грудной клетки, рентгенография, мультиспиральная компьютерная томография

© Коллектив авторов, 2025

https://doi.org/10.56871/ViM.2025.79.72.002

Radiation diagnostics of funnel-shaped deformation of the chest in children

Arina A. Deryagina, Damir A. Malekov, Karine K. Panuntseva,
Natalya V. Marchenko, Alexander V. Pozdnyakov, Olga F. Pozdnyakova,
Kirill P. Drobotov, Maya M. Grebenyuk

Saint Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Lithuania, Saint Petersburg, 194100, Russian Federation

Contact information: Arina A. Deryagina — Resident of the Department of Medical Biophysics and Physics.
E-mail: arinaderyagina@bk.ru; https://orcid.org/0009-0006-6239-7084

For citation: Deryagina A.A., Malekov D.A., Panuntseva K.K., Marchenko N.V., Pozdnyakov A.V., Pozdnyakova O.F., Drobotov K.P., Grebenyuk M.M. Radiation diagnostics of funnel-shaped deformation of the chest in children. *Visualization in Medicine*. 2025;7(3):20–26. https://doi.org/10.56871/ViM.2025.79.72.002.

Received: 20.08.2025 **Revised: 13.10.2025** **Accepted: 18.11.2025**

Abstract. The most common congenital anomaly of the anterior chest wall is a funnel-shaped chest deformity. A funnel-shaped chest deformity is not only an aesthetic problem, but also a medical and social problem that requires an interdisciplinary approach. In severe cases, the deformity can lead to respiratory and heart problems, gastrointestinal issues, and secondary complications such as kyphosis or scoliosis, as well as serious psychological problems related to quality of life. The role of radiation diagnostics in this case is key and indispensable at all stages — from initial examination to postoperative control, as it is a complex of methods, including radiography, computed tomography and magnetic resonance imaging, which allow not only to visualize the defect, but also to quantify its severity by calculating the Haller index,the index of correction and angle of inclination of the sternum allows you to objectively assess the degree of compression effect on the mediastinal organs, heart, main vessels and pulmonary parenchyma, identify concomitant pathology, accurately draw up an individual plan for the upcoming surgical correction, choose the optimal size and simulate the implant, and then conduct full-fledged postoperative monitoring to assess the correct position of the installed plate, bone consolidation, elimination of compression of internal organs and early detection of possible complications such as structural migration

Keywords: funnel-shaped chest deformity, radiography, multispiral computed tomography

© 2025 by the autors

ВВЕДЕНИЕ

Воронкообразная деформация грудной клетки (ВДГК) — это структурная аномалия развития, характеризующаяся разнообразными по форме и глубине искривлениями грудины и передних отделов ребер. Данная патология приводит к существенному уменьшению объема грудной полости, что вызывает компрессию и смещение органов средостения. Эти анатомические нарушения лежат в основе функциональных расстройств сердечно-сосудистой и дыхательной систем, а также формируют выраженный косметический дефект, что в совокупности определяет клиническую значимость. В данной статье рассматриваются традиционные и современные лучевые методики, их диагностические возможности, преимущества и недостатки, выбор оптимальных диагностических стратегий, обеспечивающих баланс между максимальной информативностью и минимальной лучевой нагрузкой для детей.

КЛИНИЧЕСКАЯ КАРТИНА ВОРОНКООБРАЗНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

Воронкообразная деформация грудной клетки проявляется не только внешними, но и функциональными нарушениями со стороны сердечно-сосудистой, дыхательной систем и опорно-двигательного аппарата. Среди всех врожденных деформаций грудной стенки воронкообразная деформация грудной клетки занимает лидирующую позицию, составляя порядка 90%. Частота ее встречаемости варьирует от 1 на 400 до 1 на 800 новорожденных. Для данной патологии статистика указывает на значительное преобладание пациентов мужского пола над женским с соотношением 3:1 [1]. В популяции выявляется у 0,8% населения, но зачастую легкие формы ВДГК остаются недиагностированными [2]. Пациенты с ВДГК, как правило, стройные и высокие, с выступающими вперед плечами и животом. Зачастую в сочетании с деформацией наблюдается выпуклость ребер (рис. 1, 2).

Асимметрия грудной клетки часто сопровождается ротацией грудины, разной глубиной правой и левой половин. Из-за вдавления грудины расстояние между позвонками и грудиной уменьшается [3]. В тяжелых случаях наблюдается смещение сердца влево и отпечаток грудины в правом желудочке и предсердии. В первую очередь это приводит к диастолической дисфункции и связанной с ней непереносимостью физических нагрузок. Сообщается также о дисфункции клапанов, такой как пролапс митрального клапана [4, 5]. Отмечается снижение ударного объема при тяжелых формах ВДГК из-за компрессии правого желудочка.

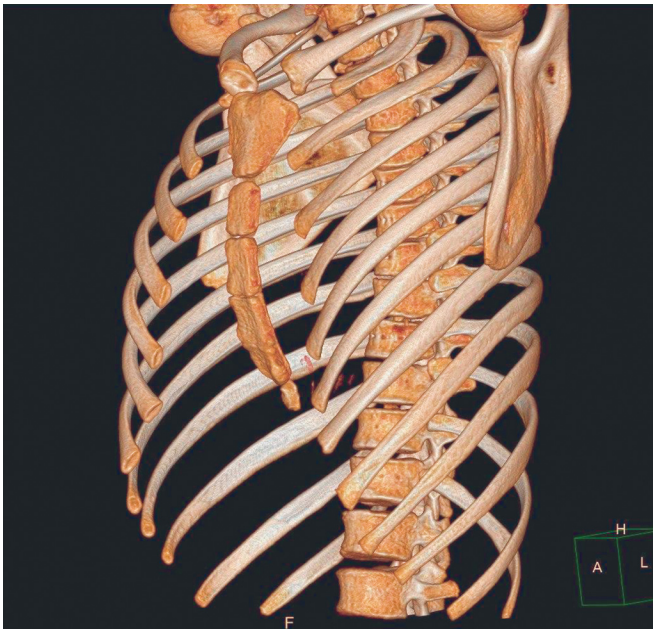

Рис. 1. 3D-реконструкция компьютерной томографии воронкообразной деформации грудной клетки с тканевым фильтром «Bone» (Малеков Д.А., 2024)

Fig. 1. 3D-reconstruction of CT scans of the upper respiratory tract with a tissue filter “Bone” (Malekov D.A., 2024)

Рис. 2. 3D-реконструкция компьютерной томографии воронкообразной деформации грудной клетки с тканевым фильтром «Skin» (Малеков Д.А., 2024)

Fig. 2. 3D-reconstruction of CT scans of the upper respiratory tract with a tissue filter “Skin” (Malekov D.A., 2024)

У подростков в период активного роста особенно заметна гипоплазия мышц грудной стенки. Из-за косметического дефекта наблюдается тревожность, депрессия, которая в большей степени характерна для подростков. Другие симптомы, например боль в груди и одышка, которые могут быть результатом анатомических изменений, трудно поддаются объективизации [1]. Для пациентов с ВДКГ типично бессимптомное течение в состоянии покоя, клинические проявления возникают при физической нагрузке.

РЕНТГЕНОГРАФИЯ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

Первичным скрининговым методом диагностики воронкообразной деформации грудной клетки является рентгенография органов грудной клетки.

Несмотря на появление более современных методов визуализации, рентгенография сохраняет свою актуальность благодаря:

- доступности и повсеместной распространенности;
- минимальной лучевой нагрузке (0,01–0,05 мЗв за исследование);
- возможности быстрого выполнения без специальной подготовки пациента.

Стандартный протокол включает выполнение снимков в двух проекциях: прямой и боковой.

Прямая проекция позволяет оценить смещение сердца влево, увеличение кардиоторакального индекса, усиление легочного рисунка в медиальных отделах, асимметрию реберных дуг, признаки сколиоза грудного отдела позвоночника. Боковая проекция наиболее информативна, обеспечивает оптимальные условия для оценки степени западения грудины и изменения грудино-позвоночного расстояния, что имеет ключевое значение для определения выраженности деформации. Для объективной оценки тяжести ВДГК используется индекс Гижицкой, определяемый по рентгенограмме, выполненной в боковой проекции (рис. 3).

Методика расчета основана на определении соотношения между фактическим (наименьшим) и должным (наибольшим) расстояниями от задней поверхности грудины до передней поверхности тел позвонков (рис. 4). Выделяют три степени деформации: I (индекс до 0,7); II (0,7–0,5); III (менее 0,5).

Рентгенография позволяет выявить косвенные признаки влияния ВДГК на органы грудной полости: компрессия правых отделов сердца, снижение воздушности нижних долей легких, изменение положения средостения [6].

Ограничения метода: недостаточная точность для планирования операции, невозможность 3D-оценки деформации и расчета угла ротации грудины, ограниченная оценка компрессии органов, низкая информативность при легких формах ВДГК.

МУЛЬТИСПИРАЛЬНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ В ОЦЕНКЕ ВОРОНКООБРАЗНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

Компьютерная томография признана «золотым стандартом» в комплексной оценке воронкообразной деформации грудной клетки, поскольку она обеспечивает визуализацию костно-хрящевых

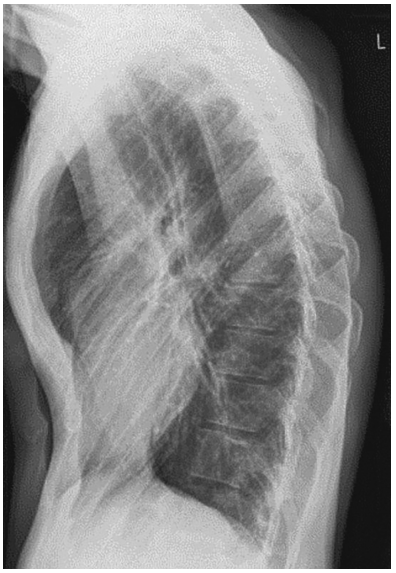

Рис. 3. Рентгенограмма органов грудной клетки в боковой проекции (Источник: https://radiomed.ru/en/comment/971)

Fig. 3. Chest X-ray in lateral projection (Source: https://radiomed.ru/en/comment/971)

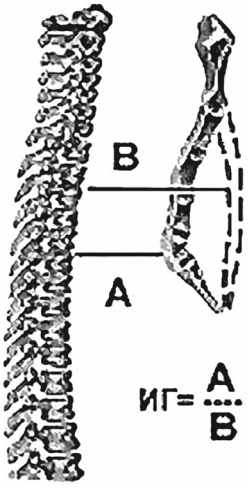

Рис. 4. Схема измерения индекса Гижицкой (Источник: https://radiomed.ru/en/comment/971)

Fig. 4. The Gizhitskaya index measurement scheme (Source: https://radiomed.ru/en/comment/971)

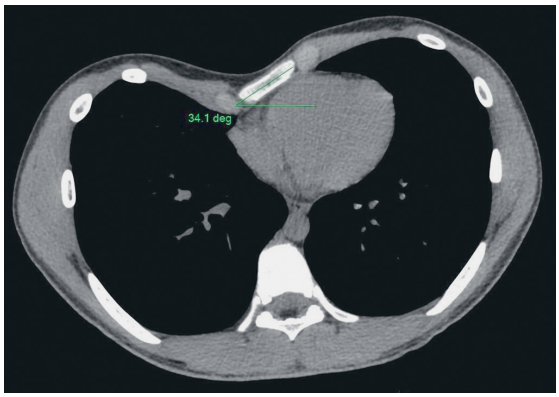

Рис. 5. Аксиальный срез компьютерной томографии с мягкотканным фильтром. Представлена ротация грудины 34° (Малеков Д.А., 2024)

Fig. 5. Axial slice of a computed tomography scan with a soft-tissue filter. The sternum is rotated 34° (Malekov D.A., 2024)

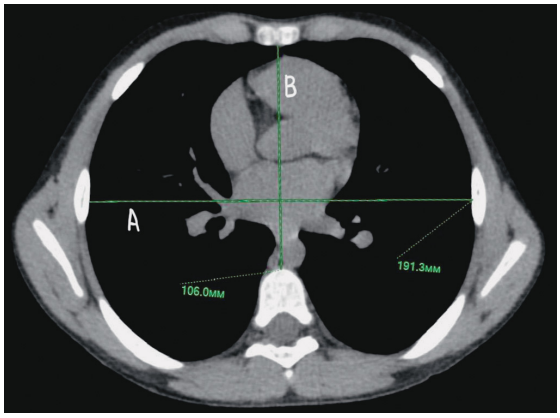

Рис. 6. Аксиальный срез компьютерной томографии с мягкотканным фильтром. Представлены поперечные (A) и переднезадние (B) измерения, индекс A/B=1,8 (индекс Халлера)

Fig. 6. Axial slice of a computed tomography scan with a soft-tissue filter.The transverse (A) and front-to-back (B) measurements are presented, with an A/B index of 1.8 (Haller index)

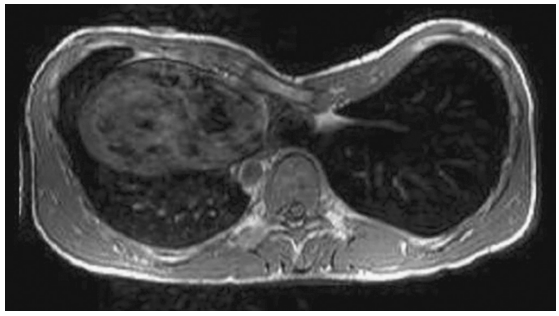

Рис. 7. Магнитно-резонансная томография органов грудной клетки в аксиальной проекции на уровне максимальной деформации (Малеков Д.А., 2024)

Fig. 7. Magnetic resonance imaging of the chest in the axial projection at the level of maximum deformation (Malekov D.A., 2024)

структур и органов средостения. Метод является ключевым в предоперационном планировании и объективной оценке показаний к хирургическому лечению [7].

Главные диагностические возможности — это количественная оценка деформации, включающая измерение индекса Халлера и угла ротации грудины; оценка органов средостения (степени компрессии правого желудочка, смещения сердца и магистральных сосудов, деформации камер сердца, сдавления трахеи и главных бронхов) (рис. 5, 6). Доза облучения при стандартной компьютерной томографии составляет 4–8 мЗв, при низкодозной — 0,5–0,8 мЗв. Низкодозный протокол является предпочтительным для педиатрической практики [8]. Стандартный протокол может применяться при необходимости оценки сопутствующей патологии. Современные низкодозные протоколы МСКТ позволяют существенно снизить радиационную нагрузку при сохранении достаточной диагностической информативности для оценки ВДГК, т.е. сохраняется возможность точного расчета индекса Халлера и 3D-планирования. При использовании МСКТ можно создать 3D-реконструкцию — объемную модель деформации, которая необходима для планирования хирургического лечения (особенно важна для метода Nuss — определение точек введения пластины, выбор длины и формы корректора, моделирование траектории проведения пластины). Врачи могут разрабатывать хирургические стратегии на основе трехмерной реконструкции грудной стенки, основанной на МСКТ [9].

Несмотря на высокую диагностическую эффективность применения метода компьютерной томографии при ВДГК, имеются некоторые ограничения: ионизирующее излучение (даже при использовании низкодозных протоколов), оценка динамики дыхания, высокая стоимость по сравнению с рентгенографией.

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является перспективным методом оценки ВДГК, альтернативой КТ без лучевой нагрузки, но имеет множество недостатков, таких как:

- ограниченное пространственное разрешение при оценке костных структур (меньшая эффективность в визуализации тонких костных структур по сравнению с МСКТ);
- чувствительность к артефактам движения и дыхания (из-за этого меньшая точность измерения индекса Халлера);

- необходимость седации у детей младшего возраста;
- длительность процедуры, требующая неподвижности пациента;
- ограниченная доступность и стоимость исследования по сравнению с МСКТ;
- ограниченные возможности при наличии металлических имплантов.

Несмотря на перечисленные недостатки, МРТ сохраняет важное значение как метод выбора при необходимости многократных исследований и комплексной оценки кардиопульмональной функции у пациентов с ВДГК (рис. 7).

АЛГОРИТМ ЛУЧЕВОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ВОРОНКООБРАЗНОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

Первичное обследование включает рентгенографию органов грудной клетки. При подозрении на значительную деформацию необходима консультация торакального хирурга. Предоперационное обследование (низкодозная компьютерная томография с 3D-реконструкцией, при наличии определенных показаний проводят МРТ). Ранний послеоперационный контроль (рентгенография органов грудной клетки для контроля положения пластины; исключения осложнений — пневмоторакс, гематома). Отдаленный период — динамическое наблюдение, контроль перед удалением пластины, диагностика рецидивов. При осложнениях проводится МСКТ с контрастным усилением.

При показателях индекса Халлера выше 3,2–3,5, индекса Гижицкой от 0,7 и меньше, а также при угле ротации грудины более 15° показано оперативное лечение (табл. 1) [3, 10, 11].

Таблица 1

Степени деформации воронкообразной грудной клетки, оцениваемые по рентгенограмме в боковой проекции и аксиальному срезу компьютерной томографии

Table 1

The degree of funnel-shaped chest deformity was assessed using a lateral radiograph and an axial slice of computed tomography

Степень деформации грудной клетки / Degree of chest deformity	Индекс Гижицкой	Индекс Халлера	Угол ротации грудины
Физиологическая норма / Physiological norm	0,9–0,7	<2,5	0,5°
I степень / degree	До 0,7 / Up to 0.7	2,5–3,2	5–15°
II степень / degree	От 0,7 до 0,5 / From 0.7 to 0.5	3,2–3,5	15–30°
III степень / degree	Менее 0,5 / Less than 0.5	>3,5	>30°

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лучевая диагностика является неотъемлемым компонентом комплексного обследования детей с воронкообразной деформацией грудной клетки. Стратифицированный подход к выбору метода визуализации позволяет оптимизировать диагностический процесс. Низкодозная МСКТ является «золотым стандартом» предоперационного обследования. Компьютерная томография позволяет точно измерить соотношение поперечного и переднезаднего размера грудной клетки, то есть оценить степень деформации грудной клетки. Рентгенологическое исследование дает лишь приблизительные данные из-за проекционных искажений, предоставляет лишь 2D-изображения, не показывает степень сдавления анатомических структур. Интерпретация рентгенологических снимков может быть субъективной, следовательно, рентгенография зачастую оказывается недостаточной для диагностики воронкообразной деформации грудной клетки. МРТ представляет собой перспективную альтернативу для комплексной анатомо-функциональной оценки. Современные тенденции направлены на развитие нелучевых методов диагностики и совершенствование протоколов низкодозной компьютерной томографии, что особенно актуально в педиатрической практике.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the

version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding. This study was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fokin A.A., Steuerwald N.M., Ahrens W.A. et al. Anatomical, histologic, and genetic characteristics of congenital chest wall deformities. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*. 2009;21(1):44–57. https://doi.org/10.1053/j.semtcvs.2009.03.001.
2. Westphal F.L., Lima L.C., Lima Neto J.C. et al. Prevalence of pertussis carinatum and pertussis excavatum in students in the city of Manaus. *Brazil. J Bras Pneumol.* 2009;35(3):221–226. https://doi.org/10.1590/s1806-37132009000300005.
3. Kelly RE Jr. Pectus excavatum: historical background, clinical picture, preoperative evaluation and criteria for operation. *Semin Pediatr Surg*. 2008;17(3):181–193. https://doi.org/10.1053/j.sempedsurg.2008.03.002.
4. Coln E., Carrasco J., Coln D. Demonstrating relief of cardiac compression with the Nuss minimally invasive repair for pectus excavatum. *J Pediatr Surg*. 2006;41(4):683–686; discussion 683-6. https://doi.org/10.1053/10.1016/j.jpedsurg.2005.12.009.
5. Crossland D.S., Auldist A.W., Davis A.M. Malignant pectus excavatum. *Heart*. 2006;92(10):1511. https://doi.org/10.1136/hrt.2005.087098.
6. Sang-Hyun S., Ung-Kyu C. Clinical significance of radiological stability in reconstructed thoracic and lumbar spine following body resection. *J Korean Neurosurg Soc*. 2014;56(4):323–329. https://doi.org/10.3340/jkns.2014.56.4.323.
7. Scalise P.N., Demehri F.R. The management of pectus excavatum in pediatric patients: a narrative review. *Transl Pediatr*. 2023;12(2):208–220. https://doi.org/10.21037/tp-22-361.
8. МР 2.6.1.0066-12. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Применение референтных диагностических уровней для оптимизации радиационной защиты пациента в рентгенологических исследованиях общего назначения: Методические рекомендации (утв. Роспотребнадзором 23.07.2012). М.; 2012.
9. Calloway E.H., Chhotani A.N., Lee Y.Z. et al. Three-dimensional computed tomography for evaluation and management of children with complex chest wall anomalies: useful information or just pretty pictures? *J Pediatr Surg*. 2011;46(4):640–647. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2010.10.013.
10. Robbins L.P. Pectus excavatum. *Radiology case reports*. 2015;6(1):460. https://doi.org/10.2484/rcr.v6i1.460.
11. Cartoski M., Nuss D., Goretsky M. et al. Classification of the Dysmorphology of Pectus Excavatum. *J Pediatr Surg*. 2006;41(9):1573–1581. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2006.05.055.

REFERENCES

1. Fokin A.A., Steuerwald N.M., Ahrens W.A. et al. Anatomical, histologic, and genetic characteristics of congenital chest wall deformities. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*. 2009;21(1):44–57. https://doi.org/10.1053/j.semtcvs.2009.03.001.
2. Westphal F.L., Lima L.C., Lima Neto J.C. et al. Prevalence of pertussis carinatum and pertussis excavatum in students in the city of Manaus. *Brazil. J Bras Pneumol.* 2009;35(3):221–226. https://doi.org/10.1590/s1806-37132009000300005.
3. Kelly RE Jr. Pectus excavatum: historical background, clinical picture, preoperative evaluation and criteria for operation. *Semin Pediatr Surg*. 2008;17(3):181–193. https://doi.org/10.1053/j.sempedsurg.2008.03.002.
4. Coln E., Carrasco J., Coln D. Demonstrating relief of cardiac compression with the Nuss minimally invasive repair for pectus excavatum. *J Pediatr Surg*. 2006;41(4):683–686; discussion 683-6. https://doi.org/10.1053/10.1016/j.jpedsurg.2005.12.009.
5. Crossland D.S., Auldist A.W., Davis A.M. Malignant pectus excavatum. *Heart*. 2006;92(10):1511. https://doi.org/10.1136/hrt.2005.087098.
6. Sang-Hyun S., Ung-Kyu C. Clinical significance of radiological stability in reconstructed thoracic and lumbar spine following body resection. *J Korean Neurosurg Soc*. 2014;56(4):323–329. https://doi.org/10.3340/jkns.2014.56.4.323.
7. Scalise P.N., Demehri F.R. The management of pectus excavatum in pediatric patients: a narrative review. *Transl Pediatr*. 2023;12(2):208–220. https://doi.org/10.21037/tp-22-361.
8. MR 2.6.1.0066-12. 2.6.1. Ioniziruyushcheye izlucheniye, radiatsionnaya bezopasnost. Primeneniye referentnykh diagnosticheskikh urovney dlya optimizatsii radiatsionnoy zashchity patsiyenta v rentgenologicheskikh issledovaniyakh obshchego naznacheniya: Metodicheskiye rekomendatsii (utv. Rospotrebnadzorom 23.07.2012). Moscow; 2012.
9. Calloway E.H., Chhotani A.N., Lee Y.Z. et al. Three-dimensional computed tomography for evaluation and management of children with complex chest wall anomalies: useful information or just pretty pictures? *J Pediatr Surg*. 2011;46(4):640–647. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2010.10.013.
10. Robbins L.P. Pectus excavatum. *Radiology case reports*. 2015;6(1):460. https://doi.org/10.2484/rcr.v6i1.460.
11. Cartoski M., Nuss D., Goretsky M. et al. Classification of the Dysmorphology of Pectus Excavatum. *J Pediatr Surg*. 2006;41(9):1573–1581. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2006.05.055.