

<https://doi.org/10.34883/PI.2023.11.2.010>



Моторенко Н.В.<sup>1</sup> ✉, Титова Н.Д.<sup>2</sup>, Винник А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь

<sup>2</sup> Белорусская медицинская академия последипломного образования, Минск, Беларусь

<sup>3</sup> Гомельская областная детская клиническая больница, Гомель, Беларусь

## Кардиореспираторные нарушения у пациента с воронкообразной деформацией грудной клетки: разбор клинического случая

**Конфликт интересов:** не заявлен.

**Вклад авторов:** Моторенко Н.В. – анализ научного материала, разработка дизайна статьи, подготовка списка литературы, написание текста статьи, составление резюме; Титова Н.Д. – анализ научного материала, научное редактирование статьи; Винник А.В. – научное редактирование статьи.

**Информированное согласие.** Авторы получили информированные согласия законных представителей пациента на опубликование изображений и информации о нем в медицинском издании, копии которых находятся в редакции.

Подана: 01.02.2023

Принята: 29.05.2023

Контакты: nmotorenko31@mail.ru

### Резюме

**Введение.** Воронкообразная деформация грудной клетки (ВДГК) представляет собой различное по форме и глубине искривление грудины и передних отделов ребер, приводящее к уменьшению объема грудной клетки, сдавлению и смещению органов средостения, вызывающее функциональные нарушения со стороны сердечно-сосудистой и дыхательной систем, проявляющееся косметическими дефектами различной выраженности. Данную патологию определяют у 1 из 300–400 новорожденных, она составляет около 90% от всех врожденных аномалий грудной клетки.

**Цель.** Оценить функциональные нарушения органов дыхания и сердечно-сосудистой системы у пациента с III степенью ВДГК до оперативного лечения и изменение этих параметров в послеоперационном периоде.

**Материалы и методы.** Проведен анализ клинического случая ВДГК у пациента с диагнозом «врожденный порок развития: воронкообразная деформация грудной клетки III степени, IIA3 тип «Grand Canyon» по Park», проходившего обследование и оперативное лечение в ортопедо-травматологическом отделении учреждения «ГОДКБ»; повторно ребенок госпитализирован через год после оперативного лечения для осуществления динамического осмотра. Использовались инструментальные методы исследования (мультиспиральная компьютерная томография органов грудной клетки, электрокардиография, эхокардиография, суточное мониторирование электрокардиографии, исследование функции внешнего дыхания).

**Результаты.** Клинический случай тяжелой ВДГК III степени IIA3 тип «Grand Canyon» показывает значительные изменения параметров кардиореспираторной системы после хирургической коррекции в виде улучшения показателей функции внешнего дыхания до субнормальных величин по рестриктивному типу (до операции – умеренные нарушения по рестриктивному и обструктивному типу), нормализации

ритма сердца, исчезновения пролапса митрального клапана и дилатации правых отделов сердца (до операции – тахикардия и дилатация правых отделов сердца, пролапс митрального клапана) и свидетельствует о перестройке функционирования кардиореспираторной системы к новым условиям.

**Заключение.** Функциональные расстройства в работе органов дыхания и сердечно-сосудистой системы, обусловленные деформацией и компрессией органов грудной клетки, корригируются при восстановлении анатомической формы грудной клетки.

**Ключевые слова:** воронкообразная деформация грудной клетки, дети, мультиспиральная компьютерная томография, обследование, торакопластика

---

Natallia V. Motorenko<sup>1</sup> ✉, Nadezhda D. Titova<sup>2</sup>, Alexandr V. Vinnik<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

<sup>2</sup> Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education, Minsk, Belarus

<sup>3</sup> Gomel Regional Children's Clinical Hospital, Gomel, Belarus

## Cardiorespiratory Disorders in a Patient with Pectus Excavatum: A Clinical Case Study

**Conflict of interest:** nothing to declare.

**Authors' contribution:** Natallia V. Motorenko – analysis of scientific material, article design, literature review, text writing, summary compilation; Nadezhda D. Titova – analysis of scientific material, scientific editing; Alexandr V. Vinnik – scientific editing.

**Informed consent.** The authors obtained an informed consent from the patient's legal representatives to publish images and related information, copies of which would be kept in the editorial office, in the medical edition.

Submitted: 01.02.2023

Accepted: 29.05.2023

Contacts: nmotorenko31@mail.ru

### Abstract

---

**Introduction.** Pectus excavatum is a curvature of the sternum and anterior ribs that may differ in shape and depth, resulting in reduced thoracic volume, compression and displacement of the mediastinal organs, causing functional disorders of the cardiovascular and respiratory systems, and manifesting as cosmetic defects of various expressiveness. This pathology is detected in 1 of every 300–400 newborns accounting for about 90% of all congenital anomalies of the chest.

**Purpose.** A literature review and a clinical case description of functional disorders of the respiratory and cardiovascular systems in a patient with grade 3 VDHC before surgical treatment with an evaluation of changes in these parameters in the postoperative period.

**Materials and methods.** An analysis of the clinical case of a patient diagnosed with "Congenital malformation: Funnel chest deformity of the III degree, IIA3 type "Grand Canyon" by Park" who underwent examination and surgical treatment in the orthopedic and traumatology department of the State Children's Clinical Hospital was carried out. The child was re-hospitalized a year after surgical treatment for follow-up examination. Instrumental methods of examination were applied (multispiral computer tomography, electrocardiography, echocardiography, Holter monitoring, and external respiratory function testing).

**Results.** The described clinical case of severe VДГК III degree IIA3 type "Grand Canyon" reveals significant alterations of cardiorespiratory parameters after surgical correction as an improvement in respiratory function to subnormal values of restrictive type (before surgery moderate disorders of restrictive and obstructive type were observed), normalization of the heart rhythm, disappearance of mitral valve prolapse and right heart dilatation (before surgery tachyarrhythmia and right heart dilatation, and mitral valve prolapse were present) indicating restructuring of cardiorespiratory system functioning for new conditions.

**Conclusion.** Functional disorders of the respiratory and cardiovascular systems caused by deformation and compression of the chest organs are corrected by restoring the anatomical shape of the chest.

**Keywords:** pectus excavatum, children, multispiral computed tomography, examination, thoracoplasty

## ■ ВВЕДЕНИЕ

Воронкообразная деформация грудной клетки (ВДГК) – это редкая врожденная аномалия развития, проявляющаяся патологическим вдавлением грудины, прилежащих ребер и соответствующих грудино-реберных хрящей [1, 2]. Деформация обычно начинается от места соединения рукоятки с телом грудины и распространяется на III–VIII ребра, включая обе реберные дуги. Причиной формирования ВДГК является дисхондрогенез гиалинового реберного хряща, приводящий к опережающему росту ребер и вдавлению грудины внутрь грудной клетки [3]. ВДГК может встречаться как изолированный порок развития, а может быть проявлением генетических заболеваний, таких как синдром Марфана, синдром Элерса – Данлоса, ахондроплазии, синдром Нунан, синдром Тернера, несовершенный остеогенез, нервно-мышечные заболевания [4]. Отягощенный семейный анамнез по деформациям грудной клетки у пробандов с ВДГК имеется в 37% случаев [5], что свидетельствует о генетически детерминированном патологическом процессе. ВДГК также может возникать как следствие основных заболеваний легких (бронхолегочная дисплазия, пороки развития легких и бронхов).

Около одной трети случаев ВДГК возникает в младенчестве [6], сообщалось о спонтанной регрессии деформации у детей до 1 года, однако частота спонтанного уменьшения деформации снижается у детей старше одного года, и после шестилетнего возраста исчезновения деформации ожидать не следует. После 12 лет ВДГК усиливается у одной трети пациентов во время подросткового скачка роста и остается неизменной у двух третей. Надежных маркеров для прогнозирования прогрессирования нет.

Западение грудины, искривление ребер приводят к уменьшению объема грудной клетки, сдавлению и смещению органов средостения и таким образом ведут к нарушению функции дыхания и сердечно-сосудистой системы. С ростом деформация увеличивается, при этом грудина сдавливает сердце и крупные сосуды, смещая их влево. Глубина компрессии влияет на смещение сердца, уменьшается заполнение камер сердца, снижается сердечный выброс, и постепенно происходит формирование легочной гипертензии, нарушение систолической и диастолической работы

сердца [7, 8]. На электрокардиограммах это проявляется нарушениями ритма, метаболическими изменениями в миокарде, на эхокардиограммах у детей с ВДГК часто встречаются малые аномалии развития сердца, регургитации на клапанах, дилатации правых камер сердца [9]. В результате неполного расправления легких увеличивается «анатомическое мертвое пространство», снижается альвеолярная вентиляция. Усугубляют проявления бронхолегочного синдрома частые респираторные заболевания [10]. Нарушения функции внешнего дыхания при бронхолегочном синдроме могут быть как рестриктивными, так и обструктивными и чаще носят смешанный характер [9].

Существует множество классификаций ВДГК. Так, в 1987 году J.J. Haller предложил использовать сходный индекс, который рассчитывается на основании данных компьютерной томографии. Математический индекс Халлера – это отношение поперечного размера грудной клетки к передне-заднему размеру. При этом пациентам с индексом Халлера, превышающим 3,25, показано оперативное лечение [11]. Классификация степени деформации воронкообразной грудной клетки на основе индекса Халлера представлена в таблице.

В 2008 году H.J. Park и соавторы предложили анатомическую классификацию [12, 13]. Для этого производят обработку 3D-снимков пациентов, имеющих деформацию грудины, с расчетом индексов депрессии DI (Depression Index), асимметрии AI (Asymmetry Index), эксцентricности EI (Eccentricity Index) и несбалансированности UI (Unbalance Index). Согласно классификации H.J. Park выделяют:

- IA (классический тип ВДГК) – самый благоприятный для коррекции по методу Nuss;
- IB тип (симметричная деформация, широкий плоский тип) – также дает хорошие результаты после коррекции по методу Nuss;
- IIA1 тип (асимметричный эксцентricный локальный тип ВДГК) – после операции по методу Nuss полной коррекции достичь не удастся;
- IIA2 тип (асимметричный эксцентricный широкий плоский тип) – как и при типе IIA1, не удастся достичь полной коррекции;
- IIA3 тип (асимметричный эксцентricный длинный глубокий тип ВДГК, «Grand Canyon» тип) – сложный тип деформации, при котором обычно устанавливается не менее 2 пластин;
- IIB тип (симметричный несбалансированный тип ВДГК) – сложен для эффективной коррекции методом Nuss.

У детей грудного возраста характерным признаком воронкообразной деформации является симптом «парадокса вдоха», усиливающийся при крике или плаче ребенка. Реже наблюдаются явления дисфагии, упорные срыгивания, стридорозное дыхание.

**Степень воронкообразной деформации грудной клетки на основе индекса Халлера  
Degree of pectus deformity based on the Haller index**

Степень	Индекс Халлера (см)
I	3,0–3,9
II	4,0–4,9
III	5,0–5,9
IV	≥6,0

В дошкольном периоде данные пациенты имеют типичный для ВДГК вид: опущенные надплечья, выступающий живот, уплощенная грудная клетка, приподнятые края реберных дуг, гаррисоновы борозды. Отмечается выраженная склонность к респираторным заболеваниям с длительным кашлем. Постепенно происходит смещение сердца влево и кзади. Выраженность дислокации сердца зависит от степени воронкообразной деформации. Компенсаторные возможности не исчерпаны, в связи с чем ярких клинических проявлений нет.

В школьном периоде, особенно в пубертатном возрасте, на первое место выходят психологические проблемы, связанные с осознанием собственной физической неполноценности и косметического дефекта. Такие дети имеют типичный вид: астеническую конституцию, слабо развитую мышечную систему, отстают в весе, голова и шея выдаются вперед, характерен выступающий живот, вторичный кифоз и сколиоз. Отмечается уменьшение экскурсии грудной клетки на вдохе и при выдохе (у здоровых детей данные показатели составляют 4–7 см, у пациентов с ВДГК амплитуда колебаний – 2–5 см). Легкие не могут полностью расправиться во время вдоха, снижается жизненная емкость легких, сокращается время задержки дыхания на вдохе и на выдохе, нарушается доставка кислорода к работающим мышцам, усиливаются застойные явления. Появляются жалобы на быструю утомляемость, одышку при незначительной физической нагрузке, частые заболевания верхних дыхательных путей, колющие боли в сердце, чувство «сердцебиения», слабость [14]. У пациентов с тяжелой ВДГК может быть тахикардия из-за сниженного ударного объема, в зависимости от искривления и смещения сердца. Функциональные систолические шумы выслушиваются примерно у 18% пациентов, вероятно, из-за компрессии выходного тракта левого желудочка. О пролапсе митрального клапана сообщалось у 7–20% пациентов с воронкообразной деформацией грудной клетки [15, 16].

На сегодняшний день применяют два основных способа коррекции ВДГК – радикальную торакопластику, являющуюся модификацией операции M. Ravitch, и минимально инвазивную торакопластику по D. Nuss [15], в основе которой лежит мало-травматичное загрудинное проведение С-образной корригирующей пластины через 2 мини-доступа вогнутой поверхностью кпереди с последующим ее переворотом на 180°. Многие опубликованные исследования подтвердили улучшение качества жизни как детей, так и взрослых в результате хирургической коррекции ВДГК [1, 10–18].

## ■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценить функциональные нарушения органов дыхания и сердечно-сосудистой системы у пациента с III степенью ВДГК до оперативного лечения и изменение этих параметров в послеоперационном периоде.

## ■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассмотрен клинический случай ВДГК у пациента с диагнозом «врожденный порок развития: воронкообразная деформация грудной клетки III степени, IIA3 тип «Grand Canyon» по Park», проходившего обследование и оперативное лечение в ортопедо-травматологическом отделении учреждения «Гомельская областная детская клиническая больница»; повторно ребенок госпитализирован через год после оперативного лечения для осуществления динамического осмотра. Выполнялись инструментальные исследования (мультиспиральная компьютерная томография

органов грудной клетки, электрокардиография, эхокардиография, холтеровское мониторирование, исследование функции внешнего дыхания).

## ■ КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

Пациент Б. 17 лет поступил в детское ортопедо-травматологическое отделение с жалобами на выраженный косметический дефект (деформацию грудной клетки), одышку при незначительной физической нагрузке (подъем по лестничному пролету на 2-й этаж), боли за грудиной при физической нагрузке, повышенную утомляемость, частые респираторные заболевания с затяжным кашлем (5–6 раз в год). Впервые деформация грудной клетки была замечена родителями в возрасте 3 лет, прогрессирование деформации и появление вышеуказанных жалоб пациент отмечал с 11 лет, когда появились одышка при физической нагрузке, боли за грудиной при физической нагрузке, повышенная утомляемость.

При объективном осмотре отмечен астенический тип телосложения, масса тела – 63 кг, рост – 191 см, белково-энергетическая недостаточность легкой степени (Z-score –1,96), слабо развитая мышечная система, имелась ВДГК на протяжении всего тела грудины и мечевидного отростка на уровне III–IX ребер с выраженным косым расположением реберных пластин и очень узкими межреберными промежутками. Окружность грудной клетки на вдохе – 82 см, на выдохе – 86 см (амплитуда колебаний составила 4 см). В легких дыхание везикулярное, хрипы не выслушивались, частота дыхания 20 в минуту. Тоны сердца ритмичные, выслушивался систолический шум на верхушке, частота сердечных сокращений 92 в минуту, артериальное давление на правой руке 120/65 мм рт. ст., на левой руке 115/70 мм рт. ст.



**Рис. 1. Внешний вид пациента до оперативного лечения**  
**Fig. 1. Appearance of the patient before surgical treatment**

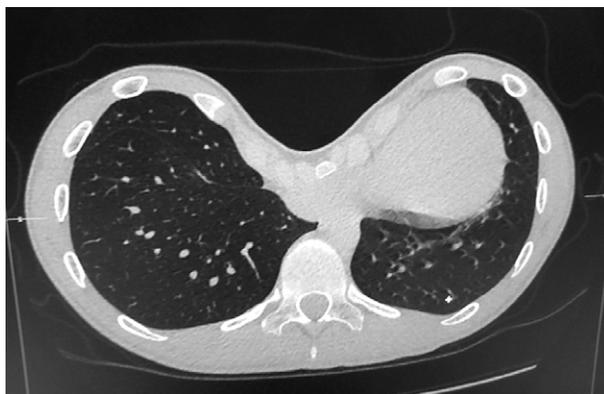
Внешний вид грудной клетки пациента до торакопластики представлен на рис. 1.

При поступлении в стационар проведено обследование: мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) органов грудной клетки (для определения степени деформации, компрессии и смещения сердца и легких, наличия ателектазов, нарушения пневматизации легочной паренхимы), электрокардиография, эхокардиография, суточное мониторирование электрокардиографии, спирометрия.

При проведении МСКТ: грудная клетка асимметрично деформирована. Тело грудины ротировано вправо. Глубина западения грудино-реберного комплекса 51 мм с компрессией правых отделов сердца. Индекс Халлера 7,5. Ось позвоночника С-образно отклонена вправо. Объем легких сохранен. Пневматизация легочной ткани равномерная. Пнеumoапикальные наслоения с двух сторон. Просвет трахеи, главных и долеых бронхов свободен. Средостение структурно. Сердце смещено влево. Перикард не изменен, жидкости в полости перикарда не определяется. Диафрагма расположена обычно, контуры ровные, четкие. Лимфатические узлы средостения не увеличены. Заключение: асимметричная воронкообразная деформация грудной клетки III степени (классический тип IIA3, тип «Grand Canyon» по Парку) (рис. 2).

Исследование функции внешнего дыхания выявило снижение основных показателей за счет сдавления легких деформированной грудной и ребрами. Жизненная емкость легких (ЖЕЛ) – 73%, объем форсированного выдоха за 1 секунду (ОФВ1) – 58%, индекс Тиффно (ИТ) – 78%,  $MOC_{25}$  – 79%,  $MOC_{50}$  – 74%,  $MOC_{75}$  – 67%. Заключение: умеренные нарушения функции внешнего дыхания по смешанному типу (обструктивному и рестриктивному).

Необходимо отметить, что, хотя у большинства пациентов с ВДГК и есть какие-либо субъективные респираторные жалобы (одышка, боль в груди или непереносимость физической нагрузки), нарушения функции легких обнаруживаются менее чем у одной трети пациентов с ВДГК [16]. У пациентов с умеренной и тяжелой деформацией средняя форсированная жизненная емкость легких обычно находится в пределах нормы, однако важно помнить, что нормальные результаты исследования функции легких не исключают возможности сердечно-легочной недостаточности во время физической нагрузки.



**Рис. 2. МСКТ-изображение грудной клетки в аксиальной проекции**  
**Fig. 2. MSCT image of the chest in axial projection**

Для оценки устойчивости организма к гиперкапнии и гипоксии, состояния кислородного обеспечения организма пациенту проводились функциональные пробы на задержку дыхания (проба Штанге – после вдоха и проба Генчи – после выдоха). Так, проба Штанге составила 32 секунды, проба Генчи – 22 секунды. Снижение времени задержки дыхания связано с уменьшением толерантности организма к гипоксии и гиперкапнии.

На электрокардиограмме: ритм синусовый, частота сердечных сокращений 104 в минуту (тахикардия). Неполная блокада правой ножки пучка Гиса. Перегрузка правого предсердия. Данные суточного мониторирования электрокардиографии: синусовый ритм, средняя ЧСС 96 в минуту, одиночные суправентрикулярные экстрасистолы. По данным эхокардиографии имелся пролапс митрального клапана I степени, регургитация на трикуспидальном клапане I степени и клапане легочной артерии I степени. Отклонение верхушки сердца кзади. Дилатация правого предсердия. Пациенту была проведена проба Руфье для оценки работоспособности сердца при физической нагрузке (30 приседаний). Результат – удовлетворительный (11,6).

На основании данных обследования пациенту был поставлен диагноз: врожденный порок развития: воронкообразная деформация грудной клетки III степени, IIA3 тип «Grand Canyon» по Park.

В связи с анатомической особенностью и выраженной протяженностью деформации грудной клетки была выполнена торакопластика по D. Nuss двумя пластинами с торакоскопической видеоассистенцией (рис. 3).



**Рис. 3. Рентгенограмма грудной клетки пациента после торакопластики**  
**Fig. 3. Chest radiograph of a patient after thoracoplasty**



**Рис. 4. Внешний вид пациента после оперативного лечения**  
**Fig. 4. Appearance of the patient after surgical treatment**

В результате операции достигли полной коррекции деформации, восстановили форму грудной клетки, устранили западение грудино-реберного каркаса. Внешний вид грудной клетки пациента после торакопластики представлен на рис. 4.

Повторно данный пациент госпитализирован через один год после оперативного лечения. Пациента полностью устраивал косметический результат операции. В течение двух месяцев после оперативного лечения постепенно уменьшались жалобы на боли за грудиной и одышку при физической нагрузке, полностью они исчезли через 6 месяцев. За год пациент перенес 1 эпизод острого назофарингита продолжительностью до 5 дней. При объективном осмотре: полностью восстановлена анатомическая структура грудной клетки, отсутствует западение грудино-реберного комплекса, за счет реабилитационных мероприятий восстановлен мышечный каркас передней грудной стенки, масса тела ребенка увеличилась до 73 кг при росте 192 см (Z-score 0,88). В легких дыхание везикулярное, хрипы не выслушивались, частота дыхания 19 в минуту. Тоны сердца ритмичные, частота сердечных сокращений 80 в минуту, артериальное давление на правой руке 120/70 мм рт. ст., на левой руке 120/65 мм рт. ст.

При проведении контрольной МСКТ грудной клетки выявлено удовлетворительное стояние пластин, отсутствие компрессии органов грудной клетки. Индекс Халлера уменьшился до 2,9. Инфильтративных изменений в легких не выявлено. Пневматизация легочной ткани равномерная. Просвет трахеи, главных и долевых бронхов свободен (рис. 5).

При исследовании внешнего дыхания параметры спирографии улучшились: ЖЕЛ увеличилась на 8%, ОФВ1 – на 13%, ИТ – на 10%, МОС<sub>25</sub> – на 15%, МОС<sub>50</sub> – на 10%, МОС<sub>75</sub> – на 12%. Заключение: начальные рестриктивные нарушения функции внешнего дыхания. Функциональные пробы на задержку дыхания также улучшились: проба Штанге составила 40 секунд, проба Генчи – 29 секунд.

На электрокардиограмме не регистрируется перегрузка правого желудочка, снизилась частота сердечных сокращений: ритм синусовый, частота сердечных сокращений 80 в минуту. Данные суточного мониторирования электрокардиографии: синусовый ритм, средняя ЧСС 74 в минуту. Эхокардиография: не зафиксировано отклонений верхушки сердца, регургитаций на трикуспидальном клапане и клапане



**Рис. 5. МСКТ-изображение грудной клетки в аксиальной проекции после оперативного лечения**  
**Fig. 5. MSCT image of the chest in axial projection after surgical treatment**

легочной артерии, нет признаков пролапса митрального клапана. Проба Рурье – результат средний (9,2).

## ■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для оценки тяжести деформации, выявления сопутствующих аномалий пациентов с ВДГК следует тщательно обследовать доступными клинико-инструментальными методами. Пациентов, которым не показана хирургическая коррекция, важно регулярно наблюдать, особенно в периоды быстрого роста, например в подростковом возрасте, поскольку деформация и связанные с ней симптомы могут заметно усилиться.

Деформация грудной клетки приводит к выраженным нарушениям со стороны как сердечно-сосудистой системы за счет изменения геометрии сердца, нарушения систолической и диастолической функции сердца, так и дыхательной системы, способствуя развитию хронической гипоксии и учащению воспалительных процессов в легких. Это требует комплексного клинического обследования пациентов с ВДГК для своевременного предупреждения развития осложнений и своевременного направления на оперативное лечение. Торакопластика ВДГК способствует восстановлению анатомической формы грудной клетки и не только исправляет косметический дефект, но и улучшает кардиореспираторную функцию.

---

## ■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Herba A., Calder B.W., Leshner A. Minimally invasive repair of pectus excavatum. *J Vis surg.* 2016;5(2):73. doi: 10.21037//jovs.2016.03.21
2. Pechetov A.A., Yesanov Yu.S., Gubaidullina G.F. Choice of method for correcting pectus excavatum in older patients. *Surgery. Journal them. N.I. Pirogov.* 2017;7:24–29. doi: 10.17116/ hirurgia201772429. (in Russian)
3. Razumovsky A.Yu., Alkhasov A.B., Razin M.P. Comparative characteristics of the effectiveness of various methods of surgical treatment of pectus excavatum in children: a multicenter study. *Orthopedics, traumatology and pediatric reconstructive surgery.* 2018;6(1):5–13. doi: 10.17816/PTORS615 – 13. (in Russian)
4. Colombani P.M. Preoperative assessment of chest wall deformities. *Semin. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2009;21(1):58–63. Available at: <https://doi.org/10.1053/j.semtevs.2009.04.003>
5. Brochhausen C., Turiel S., Müller F.K. Pectus excavatum: history, hypotheses and treatment options. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2012;14(6):801–806. doi: 10.1093/icvts/ivs045
6. Lacquet L.K., Morshuis W.J., Folgering H.T. Long-term results after correction of anterior chest wall deformities. *J Cardiovasc Surg (Torino).* 1998;39:683.
7. Miyoung K., Lee K.Y., Park H.J. Development of New Cardiac Deformity Indexes for Pectus Excavatum on Computed Tomography: Feasibility for Pre- and Post-Operative Evaluation. *Yonsei Med J.* 2009;50(3):385–390. doi: 10.3349/ymj.2009.50.3.385
8. Narzikulov U.K., Ruzikulov U.Sh., Mavlyanova D.A. Features of electrocardiographic parameters in children with pectus excavatum. *Medicine and pharmacology.* 2014;4:3–12. (in Russian)
9. Motorenko N.V., Vinnik A.V. Funnel chest deformity in children. *Problems of health and ecology.* 2022;19(1):47–54. doi: 10.51523/2708-6011.2022-19-1-07. (in Russian)
10. Gavalov S.M. Features of clinical manifestations and the course of various forms of bronchopulmonary pathology in children with minor forms of connective tissue dysplasia. *Pediatrics.* 1999;1:49–52. (in Russian)
11. Park H.J., Chung W.J., Lee I.S. Mechanism of bar displacement and corresponding bar fixation techniques in minimally invasive repair of pectus excavatum. *J Pediatr Surg.* 2008;43(1):74–78. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2007.09.022. 14
12. Robicsek F., Watts L.T., Fokin A.A. Surgical repair of pectus excavatum and carinatum. *Semin. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2009;22(1):64–75. Available at: <https://doi.org/10.1053/j.semtevs.2009.03.002>
13. Fokin A.A., Steuerwald N.M., Ahrens W.A. Anatomical, histologic, and genetic characteristics of congenital chest wall deformities. *Semin. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2009;21(1):44–57. doi: 10.1053/j.semtevs.2009.03.001
14. Ruzikulov U.Sh. Clinical manifestations of pectus excavatum in children of different ages. *Journal of Theoretical and Clinical Medicine.* 2014;2:110–112. (in Russian)
15. Nuss D., Obermeyer R.J., Kelly R.E. Nuss bar procedure: past, present and future. *Ann Cardiothorac Surg.* 2016;5(5):422–433. Available at: <https://doi.org/10.21037/acs.2016.08.05>
16. Fonkalsrud E.W. Open pectus excavatum repairs: changing trends, lessons learned: one surgeon's experience. *World J Surg.* 2009;33:180.
17. Kuru P., Bostanci K., Ermerak N.O. Quality of life improves after minimally invasive repair of pectus excavatum. *Asian Cardiovasc Thorac Ann.* 2015;23(3):302–307. doi: 10.1177/0218492314553442 3
18. Malek M.H., Fonkalsrud E.W., Cooper C.B. Ventilatory and cardiovascular responses to exercise in patients with pectus excavatum. *Chest.* 2003;124:870.