

<https://doi.org/10.34883/PI.2024.12.1.003>



Моторенко Н.В.¹ ✉, Титова Н.Д.², Винник А.В.³

¹ Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь

² Институт повышения квалификации и переподготовки кадров здравоохранения
Белорусского государственного медицинского университета, Минск, Беларусь

³ Гомельская областная детская клиническая больница, Гомель, Беларусь

Состояние функции внешнего дыхания у детей с воронкообразной деформацией грудной клетки до и после оперативного лечения

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.

Для цитирования: Моторенко Н.В., Титова Н.Д., Винник А.В. Состояние функции внешнего дыхания у детей с воронкообразной деформацией грудной клетки до и после оперативного лечения. *Педиатрия Восточная Европа*. 2024;12(1):35–44. <https://doi.org/10.34883/PI.2024.12.1.003>

Подана: 13.09.2023

Принята: 04.03.2024

Контакты: nmotorenko31@mail.ru

Резюме

Введение. Воронкообразная деформация грудной клетки (ВДГК) – это врожденное патологическое изменение формы, объема и размеров грудной клетки, приводящее к уменьшению грудино-позвоночного расстояния и дислокации внутренних органов. Отмечается снижение экскурсии грудной клетки, сдавление бронхов, смещение средостения и торсия сосудов, что ведет к гипертензии в малом круге кровообращения, хронической гипоксемии, функциональным нарушениям системы дыхания.

Цель. Определить частоту нарушений легочной вентиляции у детей с ВДГК, выявляемых клинически и инструментально, до оперативного лечения в зависимости от степени деформации, а также их динамику в послеоперационном периоде.

Материалы и методы. В исследование включены 48 пациентов с установленным диагнозом «воронкообразная деформация грудной клетки II и III степени», прошедших обследование и оперативное лечение на базе ортопедо-травматологического отделения УЗ «Гомельская областная детская клиническая больница». Обследование включало сбор жалоб, анамнеза, клинический осмотр, определение экскурсии грудной клетки, инструментальные методы исследования.

Результаты. Установлено, что глубина западения грудины с последующей деформацией грудной клетки оказывает непосредственное влияние на клинические и морфофункциональные нарушения легочной вентиляции, что отражается в снижении показателей функции внешнего дыхания (ЖЕЛ, ФЖЕЛ, ОФВ1) у пациентов со II и особенно с III степенью деформации. Через 6 месяцев, после проведения торакопластики, данные показатели значительно улучшились. Так, у пациентов со II степенью ВДГК прирост показателей внешнего дыхания составил: ЖЕЛ – +16%, ФЖЕЛ – +16%, ОФВ1 – +11%. У пациентов с III степенью ВДГК ЖЕЛ увеличилась на 7%, ФЖЕЛ на 5,5%, ОФВ1 на 12,7%, индекс Тиффно на 10%.

Заключение. Нарушения легочной вентиляции, обусловленные деформацией грудной клетки, зависят от степени деформации и корректируются при восстановлении анатомической формы грудной клетки.

Ключевые слова: воронкообразная деформация грудной клетки, дети, нарушения функции внешнего дыхания, обследование, торакопластика

Natallia V. Motorenko¹ ✉, Nadezhda D. Titova², Alexandr V. Vinnik³

¹ Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

² Institute of Advanced Training and Retraining of Healthcare Personnel of the Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus

³ Gomel Regional Children's Clinical Hospital, Gomel, Belarus

Status of External Respiratory Function in Children with Pectus Excavatum Before and After Surgery

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: Natallia V. Motorenko – scientific material analysis, article design, reference list preparation, text writing, abstract writing; Nadezhda D. Titova – scientific material analysis, scientific editing of the article; Alexandr V. Vinnik – scientific editing of the article.

For citation: Motorenko N., Titova N., Vinnik A. Status of External Respiratory Function in Children with Pectus Excavatum Before and After Surgery. *Pediatrics Eastern Europe*. 2024;12(1):35–44 (in Russian). <https://doi.org/10.34883/Pl.2024.12.1.003>

Submitted: 13.09.2023

Accepted: 04.03.2024

Contacts: nmotorenko31@mail.ru

Abstract

Introduction. Pectus excavatum (PE) is a congenital pathologic alteration in shape, volume, and size of the chest, resulting in decreased sterno-vertebral distance and dislocation of internal organs. Reduced chest excursion, bronchial compression, mediastinal displacement and vascular torsion are observed, leading to pulmonary hypertension, chronic hypoxemia, and functional disorders of the respiratory system.

Purpose. To determine the incidence of pulmonary ventilation disorders in children with VDHC, detected clinically and instrumentally, before surgery, depending on the degree of deformity, as well as their evolution in the postoperative period.

Materials and methods. The study included 48 patients diagnosed with pectus excavatum of II and III degrees who underwent examination and surgery at the orthopedic and traumatology department of the ME "Gomel Regional Children's Clinical Hospital". The examination included complaints and history recording, clinical examination, determination of chest excursion, and instrumental testing methods.

Results. It has been established that the depth of sternal retraction and subsequent chest deformity directly affected both clinical and morphofunctional disorders of pulmonary ventilation, which was manifested by a decrease in the external respiratory function (VC, FVC, FEV1) in patients with II and, especially, with III degree of deformity. 6 months after thoracoplasty, these indicators were significantly improved. Thus, in patients with II degree of PE, the increase in external respiration parameters was as follows: VC – +16%,

FVC – +16%, and FEV1 – +11%. In patients with III degree of PE, VC increased by 7%, FVC by 5.5%, and FEV1 by 12.7%.

Conclusion. Pulmonary ventilation disorders due to chest deformity depend on the degree of deformity and can be corrected when the anatomical shape of the chest is restored.

Keywords: pectus excavatum, children, respiratory dysfunction, examination, thoracoplasty

■ ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее значимых и в то же время наиболее часто встречающихся форм деформаций грудной клетки является воронкообразная деформация грудной клетки (ВДГК) [1, 2]. В настоящее время этиология ВДГК до конца не изучена, считают, что данная патология возникает из-за структурной аномалии соединительной ткани и приводит к несбалансированному разрастанию в костохондральных областях, что ведет к вогнутому виду передней грудной стенки [3, 4]. Нарушение каркаса передней грудной стенки ведет к компрессии внутренних органов. Происходят дислокация органов средостения, смещение сердца, сдавление магистральных сосудов, нарушения центральной гемодинамики. Уменьшение объема грудной полости нарушает биомеханику дыхания. Легкие недостаточно расправляются, уменьшается площадь «легочной мембраны». Сдавление бронхов приводит к застою секрета в альвеолах, нарушению их эвакуации и возникновению воспалительного процесса. Компенсаторная гиперперфузия легких приводит к физиологическому легочному шунту и скрытой гипоксемии [5]. В результате компрессии изменяются параметры дыхания, снижаются дыхательные объемы.

Клинические проявления ВДГК зависят от возраста ребенка. У грудничков отмечается «парадокс вдоха» т. е. западение грудины и ребер при вдохе, усиливающееся при крике или плаче ребенка, однако функциональных нарушений при этом не наблюдается. У детей младшего возраста – склонность к частым респираторным инфекциям (трахеиты, бронхиты, пневмонии), повышенная утомляемость [6]. Наибольшей выраженности ВДГК достигает у детей школьного возраста. Такие дети приобретают типичный для воронкообразной грудины вид: надплечья опущены, грудная клетка уплощена, края реберных дуг приподняты, живот выпячен [6]. Усиливается грудной кифоз. Кожные покровы бледные, отмечается снижение массы тела, беспокоят одышка и боли в грудной клетке при незначительной физической нагрузке, повышенная утомляемость (из-за нехватки кислорода и сдавления сердца), сердцебиение, частые респираторные заболевания [7]. Деформация становится фиксированной, симптом «парадокса вдоха» исчезает. Дыхательная экскурсия грудной клетки снижается на 1–2,5 см (вместо 4–7 см в норме). Увеличиваются размеры воронки: ее глубина достигает 7–8 см, снижается жизненная емкость легких, что приводит к изменению окислительно-восстановительных процессов, нарушению обмена веществ и кислотно-щелочного состояния. Данные нарушения обусловлены нарастающими изменениями пространственных соотношений в грудной клетке. По мере роста ребенка данные проявления увеличиваются, и длительность компенсаторного периода непосредственно связана со степенью хронической гипоксии, которая присутствует у всех пациентов в разной степени [8, 9].

Деформация грудной клетки представляет собой косметический дефект, что причиняет психологический дискомфорт ребенку и неблагоприятно сказывается на социальной адаптации и гармоничном развитии детей [10]. Выраженный косметический дефект и кардиореспираторные нарушения у детей с ВДГК приводят к замкнутости, комплексу неполноценности, что отрицательно влияет на психологическое развитие ребенка [11, 12].

Физикальное обследование ребенка позволяет выявить видимое изменение формы, размеров, симметричности грудной клетки. Степень и характер деформации определяют с помощью рентгенографии грудной клетки в двух проекциях и мультиспиральной компьютерной томографии органов грудной полости. Данные исследования позволяют оценить костную структуру грудной клетки, изменения в легких, степень смещения органов средостения. Для определения тяжести вторичных изменений со стороны сердечно-легочной системы проводится электрокардиография, эхокардиография, суточное мониторирование электрокардиографии, исследование функции внешнего дыхания.

Существуют функциональные (проявляются в патологических изменениях со стороны сердечно-сосудистой и дыхательной систем), ортопедические (вызванные прогрессирующими нарушениями осанки и искривлением позвоночника) и косметические (связанные с наличием дефекта и обусловленные психологическим дискомфортом) показания к оперативному лечению ВДГК.

Единственным эффективным методом лечения воронкообразной деформации грудной клетки является оперативное вмешательство. Широкое распространение получил малоинвазивный метод торакопластики по D. Nuss. Метод основан на «разгибании» реберных хрящей при помощи загрудинного проведения металлической пластины. Установка пластины осуществляется через небольшие доступы, что уменьшает травматизацию мышц грудной клетки, снижает кровопотерю во время операции, а также обладает высоким косметическим эффектом. Хирургическую коррекцию проводят при 2–3-й степени искривления грудной клетки [13].

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определить частоту нарушений легочной вентиляции у детей с ВДГК, выявляемых клинически и инструментально, до оперативного лечения в зависимости от степени деформации, а также их динамику в послеоперационном периоде.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включены 48 пациентов с установленным диагнозом «воронкообразная деформация грудной клетки», проходивших обследование и оперативное лечение на базе ортопедо-травматологического отделения УЗ «Гомельская областная детская клиническая больница». Характеристика детей на момент начала исследования представлена в табл. 1.

Обследование включало сбор жалоб, анамнеза, клинический осмотр, определение экскурсии грудной клетки, инструментальные методы исследования. С целью выявления поражений дыхательной системы всем пациентам с ВДГК проводилось исследование функции внешнего дыхания, наиболее значимым показателем которого являлась функциональная остаточная емкость легких. Функция внешнего дыхания оценивалась с помощью спирографического метода на компьютерном спирографе

Таблица 1
Характеристика детей с ВДГК на момент начала исследования
Table 1
Characteristics of children with PE at the start of the study

Пол	Возраст				
	6–8 лет	9–11 лет	12–14 лет	15–17 лет	Все
Мальчики	1	1	19	15	36 (75,0%)
Девочки	–	–	6	6	12 (25,0%)
Всего	1 (2,1%)	1 (2,1%)	22 (52,1%)	21 (43,7%)	48 (100%)

с графической фиксацией и записью кривой «поток – объем» при выполнении маневра форсированного выдоха и регистрацией показателей. Диагностика вентиляционных нарушений основана на оценке отклонения от нормы показателей, выраженных в процентах от должной величины. Определялись следующие показатели: объем жизненной емкости легких (ЖЕЛ, %), объем форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ, %), объем форсированного выдоха за 1 секунду (ОФВ1, %), индекс Тиффно – отношение объема форсированного выдоха за 1 секунду к жизненной емкости легких, выраженное в процентах отношение (ИТ, %). Проведены функциональные пробы с задержкой дыхания (проба Штанге и проба Генчи), мультиспиральная компьютерная томография грудной клетки и органов грудной полости. Всем пациентам была проведена операция по методике D. Nuss с торакоскопической видеоассистенцией. Через 6 месяцев после проведенного оперативного лечения все дети прошли повторное обследование с целью оценки динамических изменений. Референтную группу (n=20) составили здоровые дети (возрастной состав – от 10 до 18 лет).

Статистическая обработка результатов проводилась при помощи компьютерной программы Statistica 10,0. Описательные статистики численных показателей представлены в виде Me – медиана показателя, Q1, Q3 – первый и третий квартиль: Me (Q1, Q3). Проверка соответствия нормальному распределению значений количественной переменной проводилась при помощи критерия Шапиро – Уилка. Показатель достоверности различий (P) определялся с использованием критериев Стьюдента (t). Значения качественной переменной представлялись в виде абсолютных чисел (долей в %). Различия считались достоверными при уровне значимости $p < 0,05$.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения степени тяжести деформации и показаний к оперативному лечению использовали индекс Халлера. II степень деформации встречалась у 26 (54,2%) пациентов, III степень – у 22 (45,8%) пациентов. Половая структура детей с ВДГК представлена в табл. 2.

Таблица 2
Половая структура детей с ВДГК
Table 2
Sex structure of children with PE

Степень деформации	Мальчики	Девочки	Всего
II степень ВДГК	20 (76,9%)	6 (23,1%)	26 (54,2%)
III степень ВДГК	16 (72,7%)	6 (27,3%)	22 (45,8%)

Медиана возраста мальчиков составила 14 (13–16), девочек – 14 (12–15) лет. Большинство детей (36; 75,0%) имели астеническое телосложение за счет белково-энергетической недостаточности легкой степени ($Z\text{-score} < -1,0 - > -1,9$). У пациентов со II степенью ВДГК средние показатели индекса массы тела (ИМТ) составили 17,5 (16,3–18,3), у детей с III степенью деформации – 17,8 (17,2–19,4).

При опросе пациенты предъявляли жалобы на одышку при незначительной физической нагрузке (подъем по лестничному пролету на 2–3-й этаж), повышенную утомляемость, боли в сердце, головокружение, сердцебиение, косметический дефект. Данные представлены в табл. 3.

Таким образом, с углублением деформации грудной клетки увеличивалась выраженность и частота возникновения жалоб.

В результате сдавления органов деформированной грудной клеткой у детей с ВДГК ограничивается экскурсия легких, нарушается мукоцилиарный клиренс, что ведет к формированию хронических очагов инфекции. Наиболее часто у пациентов с ВДГК встречались вирусные инфекции верхних дыхательных путей (более 4 раз в год) – у 25 (52,1%) пациентов, трахеиты с затяжным кашлем – у 11 (22,9%), бронхиты – у 12 (25,0%), пневмонии (чаще двух раз в год) – у 3 (6,3%) пациентов.

Для оценки устойчивости организма к гиперкапнии и гипоксии, состояния кислородного обеспечения организма детям с ВДГК проводились функциональные пробы на задержку дыхания (проба Штанге – после вдоха и проба Генчи – после выдоха). Данные представлены в табл. 4.

Таблица 3
Наиболее часто встречающиеся жалобы у детей с ВДГК в зависимости от степени деформации, абс. (%)
Table 3
The most common complaints in children with PE, depending on the degree of deformity, abs. (%)

Жалобы	Референтная группа (n=20)	II степень (n=26)	III степень (n=22)
Одышка при незначительной физической нагрузке	1 (5%)	16 (61,5%)*	17 (77,3%)*
Повышенная утомляемость	5 (25%)	13 (50,0%)*	15 (68,2%)*
Боли в сердце	0	12 (46,2%)*	12 (54,5%)*
Головокружение	3 (15%)	5 (19,2%)**	7 (31,8%)**
Сердцебиение	2 (10%)	7 (26,9%)**	8 (36,4%)*
Косметический дефект	0	17 (65,4%)*	19 (86,4%)*

Примечания: * $p < 0,05$ при сравнении с референтной группой; ** $p > 0,05$ при сравнении с референтной группой.

Таблица 4
Данные функциональных проб у детей с ВДГК (Me (Q25 – Q75))
Table 4
Data of functional tests in children with PE (Me (Q25 – Q75))

Пробы	Референтная группа (n=20)	II степень ВДГК (n=26)	III степень ВДГК (n=22)
Проба Штанге (сек.)	45,5 (41–48,5)	36 (32–42)*	35 (31–41)*
Проба Генчи (сек.)	32 (28,5–35)	23 (20–28)*	22 (19–26)*

Примечание: * $p < 0,05$ при сравнении с референтной группой.

У пациентов с ВДГК отмечалось уменьшение времени задержки дыхания как после вдоха, так и после выдоха, по сравнению с референтной группой, что свидетельствует о снижении гипоксической устойчивости организма и толерантности к гиперкапнии.

Одним из важных показателей функции внешнего дыхания является экскурсия грудной клетки (ЭГК). Отмечалось снижение показателей ЭГК у детей с ВДГК, так, у пациентов со II степенью деформации она составила $4,1 \pm 0,14$ см, с III степенью – $3,9 \pm 0,23$ см, по сравнению с детьми референтной группы ($4,6 \pm 0,15$) ($p < 0,01$).

Для оценки функции внешнего дыхания всем пациентам с ВДГК проводилась спирометрия. Данные представлены в табл. 5.

У пациентов с ВДГК с увеличением степени деформации прогрессируют рестриктивные нарушения дыхания, что объясняется снижением легочной вентиляции в альвеолярных отделах с ослаблением функции дыхательных мышц. При III степени деформации присоединяется умеренный обструктивный синдром.

Всем пациентам с ВДГК была проведена операция по методике D. Nuss с торакоскопической видеоассистенцией. Повторно данные пациенты были обследованы через 6 месяцев после оперативного лечения. Большинство детей (93,7%) были довольны косметическим результатом, отмечали улучшение самочувствия, отсутствие чувства сердцебиения, одышки, боли в грудной клетке, улучшение переносимости физической нагрузки.

Всем детям были проведены функциональные пробы на задержку дыхания. Данные представлены в табл. 6.

После проведения торакопластики отмечается улучшение показателей функциональных проб на задержку дыхания, улучшение качества кислородообеспечения,

Таблица 5
Показатели внешнего дыхания у детей с ВДГК до оперативного лечения (Me (Q25 – Q75))
Table 5
Indicators of external respiration in children with PE before surgery (Me (Q25 – Q75))

Показатель	Референтная группа (n=20)	II степень ВДГК (n=26)	III степень ВДГК (n=22)
ЖЕЛ (%)	101 (95–107)	74 (72–77)*	73 (72–75)*
ФЖЕЛ (%)	104 (97–108)	77 (75–78)*	75 (71–77)*
ОФВ ₁ (%)	106,5 (104–113)	77 (73–79)*	58,5 (54–62)*
Индекс Тиффно (%)	102 (96–108)	97 (95–103)*	79 (77–83)*

Примечание: * $p < 0,05$ при сравнении с референтной группой.

Таблица 6
Данные функциональных проб у детей с ВДГК через 6 месяцев после оперативного лечения (Me (Q25 – Q75))
Table 6
Data of functional tests in children with PE 6 months after surgery (Me (Q25 – Q75))

Пробы	Референтная группа (n=20)	II степень ВДГК (n=26)	III степень ВДГК (n=22)
Проба Штанге (сек.)	45,5 (41–48,5)	41 (37–44)*	40 (37–47)*
Проба Генчи (сек.)	32 (28,5–35)	28 (25–33)*	26,5 (25–29)*

Примечание: * $p < 0,05$ при сравнении с референтной группой.

Таблица 7
Показатели внешнего дыхания у детей со II степенью ВДГК через 6 месяцев после оперативного лечения (Me (Q25 – Q75))
Table 7
Indicators of external respiration in children with II degree of PE after surgery (Me (Q25 – Q75))

Показатель	II степень ВДГК (n=26)		Т-критерий
	до операции	после операции	
ЖЕЛ (%)	74 (72–77)	90 (88–92)	T=14,23, df 25, p<0,0001
ФЖЕЛ (%)	77 (75–78)	93 (90–94)	T=19,21, df 25, p<0,0001
ОФВ ₁ (%)	77 (73–79)	88 (86–90)	T=11,57, df 25, p<0,0001
Индекс Тиффно (%)	97 (95–103)	97 (96–101)	T=1,25, df 25, p=0,21

увеличение дыхательных резервов. Так, при II степени ВДГК показатели пробы Штанге улучшились на 13,9%, данные пробы Генчи – на 21,7%, при III степени ВДГК на 14,3% и 18,2% соответственно.

Для оценки функции внешнего дыхания всем пациентам с ВДГК проводилась спирометрия. Данные представлены в табл. 7 и 8.

Таким образом, у детей, имевших до операции II степень ВДГК, увеличились показатели функции внешнего дыхания: ЖЕЛ на 16% (рис. 1), ФЖЕЛ на 16%, ОФВ₁ на 11%. Показатели индекса Тиффно не изменились, однако и до оперативного лечения они находились в пределах нормы.

Дети с III степенью ВДГК через 6 месяцев после оперативного лечения имели увеличение всех показателей: ЖЕЛ – на 7% (рис. 2), ФЖЕЛ – на 5,5%, ОФВ₁ – на 12,7%, ИТ – на 10%. Следовательно, отмечается восстановление рестриктивных нарушений

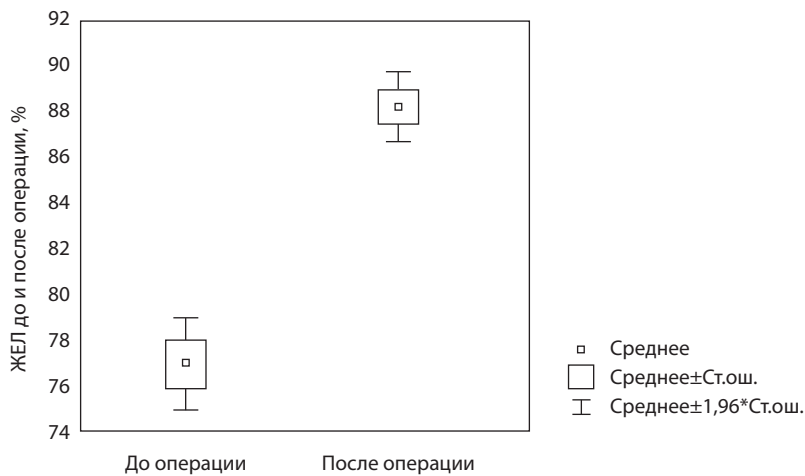


Рис. 1. ЖЕЛ до и после операции у детей со II степенью ВДГК
Fig. 1. VC before and after surgery in children with II degree of PE

Таблица 8
Показатели внешнего дыхания у детей с III степенью ВДГК до и после оперативного лечения (Me (Q25 – Q75))
Table 8
Indicators of external respiration in children with III degree of PE after surgery (Me (Q25 – Q75))

Показатель	III степень ВДГК (n=22)		Т-критерий
	до операции	после операции	
ЖЕЛ (%)	73 (72–75)	80 (78–82)	T=13,64, df 21, p<0,0001
ФЖЕЛ (%)	75 (71–77)	80,5 (79–83)	T=4,67, df 21, p<0,0001
ОФВ ₁ (%)	58,3 (54–62)	71 (70–73)	T=12,99, df 21, p<0,0001
Индекс Тиффно (%)	79 (77–83)	89 (87–92)	T=11,49, df 21, p<0,0001

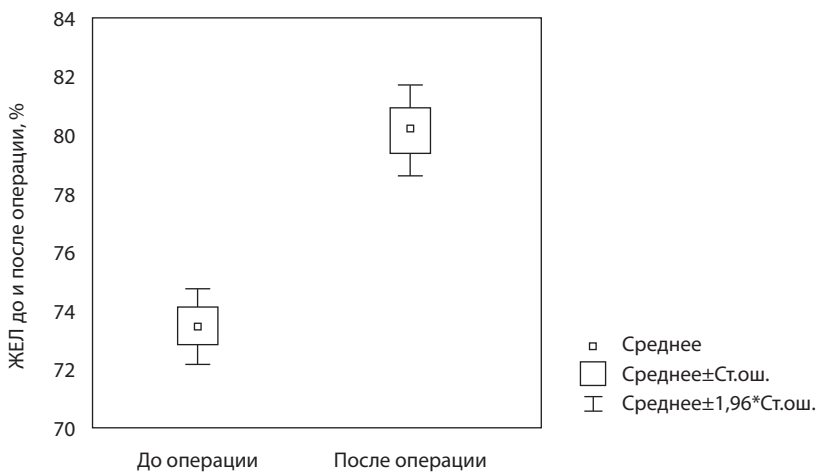


Рис. 2. ЖЕЛ до и после операции у детей с III степенью ВДГК
Fig. 2. VC before and after surgery in children with a III degree of PE

функции внешнего дыхания и устранение вентиляционной недостаточности obstructive mechanism.

Учитывая разную глубину западения грудины, компрессию легких и морфофункциональные нарушения легочной вентиляции, в послеоперационном периоде показатели функции внешнего дыхания практически нормализовались у пациентов со II степенью и улучшились у пациентов с III степенью деформации.

■ **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

По мере роста ребенка, с увеличением степени деформации, длительности заболевания усиливаются явления хронической гипоксии тканей, что приводит к снижению компенсаторных возможностей организма, увеличению жалоб и частоты воспалительных заболеваний дыхательных путей, снижению показателей функциональных

проб, нарушению функций внешнего дыхания. После хирургического лечения отмечается выраженный прирост показателей внешнего дыхания, улучшение функциональных проб, что свидетельствует об адаптации респираторной системы к условиям коррекции грудной клетки с нормализацией соматических показателей.

Таким образом, реконструктивную торакопластику необходимо проводить при функциональных нарушениях со стороны дыхательной системы, с учетом компенсаторных возможностей организма.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Ewais M.M., Chaparala S. Outcomes in adult pectus excavatum patients undergoing Nuss repair. *Patient Relat Outcome Meas.* 2018;9:65–90. doi: 10.2147/PROM.S 117771.
2. Fokin A.A., Steuerwald N.M., Ahrens W.A., Allen K.E. Anatomical, histologic, and genetic characteristics of congenital chest wall deformities. *Semin. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2009;21(1):44–57. doi: <https://doi.org/10.1053/j.serntevs.2009.03.001>.
3. Dass B.B., Recto M.R. Improvement of cardiopulmonary function after minimally invasive surgical repair of pectus excavatum (Nuss procedure) in children. *Ann Pediatr Cardiol.* 2019;12(2):77–82. doi: 10.4103/apc.APC 121 18.
4. Nechaeva G., Yakovlev V., Konev V. Connective tissue dysplasia: main clinical syndromes, diagnosis formulation, treatment. *Attending physician.* 2008;2:39–48. (in Russian)
5. Priyma N., Komolkin I., Komissarov I., Afanasiev A. Determination of indications for surgical treatment of pectus excavatum in children based on echocardiographic data. *Genius Orthopedics.* 2012;4:53–57. (in Russian)
6. Aronson D.C. Lung function after the minimal invasive pectus excavatum repair (Nuss procedure). *World J. Surg.* 2007;31(7):1518–1522.
7. Ruzikulov U. Clinical manifestations of pectus excavatum in children of different ages. *Journal of Theoretical and Clinical Medicine.* 2014;2:110–112. (in Russian)
8. Park H.J., Jeong J.Y., Jo W.M., Shin J.S., Lee I.S., Kim K.T., Choi Y.H. Minimally invasive repair of pectus excavatum: a novel morphology-tailored, patient-specific approach. *J. Thorac Cardiovasc Surg.* 2010;139(2):379–86.
9. Park S.Y. Case of right ventricular dysfunction caused by pectus excavatum. *J. Cardiovasc. Ultrasound.* 2010;18:62–65.
10. Kim M., 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
11. Park M.K. *Pediatric cardiology for practitioners.* Copyright 2004 by Mosby-Year Book, Inc. P. 34–44.
12. Archer J.E. The measurement of the normal thorax using the Haller index methodology at multiple vertebral levels. *J Anat.* 2016;229(4):77–81.
13. Nuss D., Obermeyer R.J., Kelly R.E. Nuss bar procedure: past, present and future. *Ann Cardiothorac Surg.* 2016;5(5):422–433. doi: <https://doi.org/10.21037/acs.2016.08.05>.