

DOI: <https://doi.org/10.17816/ps644>



Лечение воронкообразной деформации грудной клетки у детей с помощью вакуумного колокола: обзор литературы

А.О. Шомина¹, З.Б. Митупов^{1,2}, А.Ю. Разумовский^{1,2}, Г.С. Гынку³, В.И. Нурик¹, А.А. Павлов⁴

¹ Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Россия;

² Детская городская клиническая больница имени Н.Ф. Филатова, Москва, Россия;

³ Государственный медицинский и фармацевтический университет имени Николае Тестемицану, Кишинев, Молдова;

⁴ Республиканская детская клиническая больница Министерства здравоохранения Чувашской Республики, Чебоксары, Россия

АННОТАЦИЯ

Воронкообразная деформация грудной клетки — наиболее часто встречающийся вид деформации грудной клетки, характеризующийся западением грудины и прилежащих частей рёбер. За последние десятилетия изменился подход к терапии данной патологии. Во многом это связано с изобретением Экхартом Клобом в 1992 г. вакуумного колокола, который можно использовать как интраоперационно, так и в качестве неинвазивной монотерапии.

Мы провели поиск публикаций в базах данных Pub Med, Web of Science, Scopus, Google Scholar и Elibrary. Для поиска англоязычных публикаций использовали следующие ключевые слова: «pectus excavatum», «funnel chest», «vacuum bell», «the vacuum chest wall lifter», «suction cup», «minimally invasive repair of pectus excavatum (MIRPE)», «intraoperative use of the vacuum bell». Для поиска русскоязычных публикаций ключевыми словами являлись: «воронкообразная деформация грудной клетки», «консервативное лечение», «вакуумный колокол». Мы проанализировали более 50 публикаций по данной теме.

В исследования были включены пациенты разных возрастных групп с воронкообразной деформацией грудной клетки различной степени тяжести. Эффективность лечения в основном оценивалась с помощью измерения глубины деформации и расчёта индекса Галлера по компьютерной томографии до и после лечения. Отличные результаты коррекции были достигнуты у 13,5–80% пациентов, использовавших вакуумный колокол. Были предприняты попытки выяснить насколько возраст пациентов, продолжительность лечения, тяжесть и тип деформации коррелируют с эффективностью лечения вакуумным колоколом. Также вакуумный колокол можно использовать для неинвазивного подъёма грудины во время торакопластики по Нассу.

В настоящее время нет единой тактики консервативного введения пациентов с воронкообразной деформацией грудной клетки — данных о показаниях, сроках консервативного лечения и оптимального возраста для начала использования вакуумного колокола. В доступной нам литературе нет единого критерия, дающего возможность спрогнозировать эффективность консервативного лечения, нет катamnестических данных более 2-х лет. Более точная оценка эффективности вакуумного колокола в лечении пациентов с воронкообразной деформацией грудной клетки должна быть подтверждена в долгосрочном исследовании с большим числом случаев.

Ключевые слова: воронкообразная деформация грудной клетки; консервативное лечение; вакуумный колокол; торакопластика по Нассу; интраоперационное использование вакуумного колокола.

Как цитировать:

Шомина А.О., Митупов З.Б., Разумовский А.Ю., Гынку Г.С., Нурик В.И., Павлов А.А. Лечение воронкообразной деформации грудной клетки у детей с помощью вакуумного колокола: обзор литературы // Детская хирургия. 2024. Т. 28. № 2. С. 194–205. DOI: <https://doi.org/10.17816/ps644>

DOI: <https://doi.org/10.17816/ps644>

Treatment of pectus excavatum in children with the vacuum bell: a literature review

Alena O. Shominova¹, Zorikto B. Mitupov^{1, 2}, Aleksander Yu. Razumovskij^{1, 2}, George S. Gincu², Vera I. Nurik¹, Anatoliy A. Pavlov⁴

¹ The Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russia;

² Filatov N.F. Children's City Hospital, Moscow, Russia;

³ Nicolae Testemicanu State Medical and Pharmaceutical University, Chisinau, Moldova;

⁴ Republican Children's Clinical Hospital, Cheboksary, Russia

ABSTRACT

Pectus excavatum is the most common type of chest deformation with the sunken sternum and adjacent parts of the ribs. In recent decades, approach to the management of this pathology has changed, in many respects due to Eckhart Kloba's invention a vacuum bell in 1992, which can be used both intraoperatively and as a non-invasive monotherapy.

Literary sources were searched in PubMed, Web of Science, Scopus, Google Scholar, and Elibrary databases. The following keywords were used for search in the English literature: «pectus excavatum», «funnel chest», «vacuum bell», «vacuum chest wall lifter», «suction cup», «minimally invasive repair of pectus excavatum (MIRPE)», «intraoperative vacuum bell». In Russian-language literature sources, the key words were: «воронкообразная деформация грудной клетки», «консервативное лечение», «вакуумный колокол». More than 50 publications on this topic have been analyzed.

Patients of different age groups with pectus excavatum of varying severity were taken in the study. The effectiveness of treatment was mainly assessed by computed tomography measurements of deformity depth and the Haller index before and after treatment. Excellent correction results were achieved in 13.5–80% of patients with the vacuum bell. The authors have made an attempt to define how patient's age, duration of treatment, pathology severity, and deformity type correlate with the effectiveness of vacuum bell treatment. The vacuum bell can also be used as a non-invasive lift of the sternum during Nuss thoracoplasty surgery.

Currently, there is no any unified tactics for the conservative management of patients with pectus excavatum, namely, unified indications, period of conservative treatment, and optimal patient's age for vacuum bell application. In the available literature, there is no any criterion that could predict the success of conservative treatment; there are no follow-up data for more than 2 years. A more precise assessment of vacuum bell effectiveness in the treatment of patients with pectus excavatum should be confirmed in longer studies with a larger number of cases.

Keywords: pectus excavatum; conservative treatment; vacuum bell; minimally invasive repair of pectus excavatum (MIRPE); intraoperative vacuum bell.

To cite this article:

Shominova AO, Mitupov ZB, Razumovskii AY, Gincu GS, Nurik VI, Pavlov AA. Treatment of pectus excavatum in children with the vacuum bell: a literature review. *Russian Journal of Pediatric Surgery*. 2024;28(2):194–205. DOI: <https://doi.org/10.17816/ps644>

ОБОСНОВАНИЕ

Воронкообразная деформация грудной клетки (ВДГК) — самый частый вид деформации. Она составляет 80–90% всех деформаций грудной клетки. ВДГК проявляется западением грудины и прилежащих частей рёбер [1, 2]. Частота встречаемости ВДГК в популяции колеблется от 1:100 до 1:1000 человек [3–6]. Лица мужского пола страдают в 3 раза чаще [1, 2]. ВДГК может быть изолированным пороком развития, а также проявлением генетических заболеваний: синдром Марфана, синдром Нунана, синдром Элерса–Данлоса, нейрофиброматоз 1 типа, несовершенный остеогенез, синдром Холта–Орама, синдром LEOPARD, синдром Горлина–Гольца и др. [7–9]. Несмотря на то, что генетическая причина ВДГК неизвестна, 17–44% пациентов имеют наследственную предрасположенность [7, 10].

На сегодня в мире нет единой классификации ВДГК. Большинство авторов классифицирует ВДГК в зависимости от положения по отношению к срединной линии, выделяя симметричные и ассиметричные деформации; от формы деформации, выделяя 3 типа: чашеобразная (глубокая, узкая, с небольшим диаметром), блюдцевидная (широкая и неглубокая) или Гранд-Каньон (глубокая, продольно-протяжённая, как канал) [11–14].

Клинические проявления могут быть различными и зависят в основном от степени тяжести деформации. Обычно ВДГК проявляется лишь косметическим дефектом, но тяжёлые формы могут вызывать нарушения сердечно-сосудистой и дыхательной системы, а также психологические проблемы. У большинства детей ВДГК протекает бессимптомно. Это связано в основном с достаточным резервом организма и гибкостью грудной клетки. Однако по мере взросления могут появляться одышка, сердцебиение, загрудинная боль, снижаться толерантность к физическим нагрузкам. Это в первую очередь связано с прогрессированием деформации и повышением ригидности грудной клетки [4, 15]. Выраженная деформация также может стать причиной депрессивных состояний, замкнутости, ограничения активного образа жизни, что особенно значимо в пубертатном периоде.

На сегодня во всем мире «золотым стандартом» коррекции ВДГК, является предложенная в 1998 г. Дональдом Нассом малоинвазивная торакопластика. Её основными преимуществами являются: малая инвазивность и травматичность, отличный косметический результат. Однако данная методика имеет потенциальный риск возникновения осложнений, таких как пневмоторакс, гемоторакс, смещение пластины, кровотечение, ранение сердца, а также необходимость повторного оперативного вмешательства для удаления корригирующей пластины [16]. Несмотря на отличные результаты данной методики, продолжается поиск альтернативных безоперационных способов лечения ВДГК. Риски хирургической коррекции привели к разработке в 1992 г. Эхартом Клобом вакуумного

колокола (ВК) — устройства, состоящего из силиконового кольца и смотрового стекла, поднимающего грудину посредством вакуума [17]. Эхарт Клоб на собственном примере доказал эффективность данного метода, у него имелась ВДГК, которую он смог полностью устранить с помощью своего ВК за 3 года. Отрицательное давление в системе создаётся пациентом с помощью ручного насоса. Устройство подбирают по росту и форме вентральной поверхности грудной клетки. У оригинального немецкого производителя существуют три размера ВК: 16, 19 и 26 см в диаметре. Также есть модели для девушек и пациентов с крепким телосложением [17]. Сегодня многие страны, позаимствовав эту технологию, стали производить ВК в различной модификации. В России тоже производят ВК, однако размерный ряд значительно больше, возможно также индивидуальное изготовление колокола с разными параметрами (форма, толщина силикона, размер). На сегодня ВК используют многие зарубежные врачи в качестве консервативной терапии ВДГК, а также в качестве неинвазивного подъёмного механизма при глубоких деформациях при проведении торакопластики по Нассу.

В российских источниках описываются лишь единичные клинические случаи использования данной терапии. На сегодня остаются открытыми вопросы об оптимальном возрасте начала лечения, о показаниях, о сроках использования ВК, об основном предикторе эффективности лечения, о диагностике и способах контроля на этапах лечения. Целью данного обзора являлось проведение поиска и анализа современной литературы по вопросам эффективности консервативного способа лечения ВДГК.

Поиск литературных источников производился в базах данных PubMed, Web of Science, Scopus, Google Scholar и Elibrary. Для поиска источников в англоязычной литературе использовались следующие ключевые слова: «pectus excavatum», «funnel chest», «vacuum bell», «the vacuum chest wall lifter», «suction cup», «minimally invasive repair of pectus excavatum (MIRPE)», «intraoperative use of the vacuum bell». В русскоязычных источниках литературы ключевыми словами являлись: «воронкообразная деформация грудной клетки», «консервативное лечение», «вакуумный колокол».

Эффективность консервативного лечения ВДГК оценивалась многими авторами в основном с помощью индекса Галлера (ИГ) и/или определением глубины деформации до и после лечения, так отличные результаты коррекции были достигнуты у 13,5–80% пациентов использовавших ВК (табл. 1) [18–23]. Так Y. Jung и соавт. провели ретроспективное исследование 57 пациентов с ВДГК, которые были разделены на 2 группы: 1 группа — использовали ВК более 1 г., 2 группа — пациенты, после 2-го этапа торакопластики по Нассу (время наблюдения 1 г.). Результаты лечения оценивались путём сравнения изменения ИГ по данным компьютерной томографии (КТ) до и после лечения в обеих группах. После лечения ИГ статистически незначимо различался между пациентами двух групп.

Таблица 1. Основные характеристики и результаты исследований
Table 1. Main characteristics and results of the studies

Исследование	n (муж.:жен.)	Возраст (средний), лет	Индекс Галлера	Глубина деформации, см	Результаты
F.M. Haecker и соавт.	434 (352:82)	2–61 (16,2)	—	2,0–6,3	Через 3 мес. грудина поднялась на 1 см у 80% пациентов, у 13,5% — через 18 мес. достигла нормального уровня
F. Schier и соавт.	60 (56:4)	6,1–34,9 (14,8)	—	—	Через 5 мес. у 12 (20%) пациентов деформация исправилась полностью; 1 отдалённый положительный результат
R.J. Obermeyer и соавт.	115 (104:11)	4–23 (12,7±3,2) (n=4 >18 лет)	—	0,6–5,0 (1,77±0,68)	Отличные (20%) и хорошие результаты (17%); 15 пациентам выполнена торакопластика по Нассу
S.B. Sesia и соавт.	53 (39:14)	6–20 6–10 11–15 16–20	—	1,5 (0,8–2,3) 1,7 (0,9–3,5) 1,9 (0,7–3,2)	Прогнозирование эффективности и продолжительности лечения: чем моложе пациент, тем ниже приложенное отрицательное давление, эластичнее грудная клетка и короче продолжительность лечения
Y. Gao и соавт.	82 (53:29)	3–17	—	—	Оценка глубины деформации и индекса Галлера с помощью оптического 3D-сканера
M. Lopez и соавт.	73 ≥18 лет — 17 (15:2) ≤18 лет — 56(37:19)	≥18 лет 18–40 (22,8) ≤18 лет 3–17 (11,5)	3,2–10,0 (4,5)	≥18 лет — 1,0–3,8 (2,2) ≤18 лет — 0,9–4,5 (2,5)	Лечение закончили 23 (31,5%) пациента (21 ребёнок и 2 взрослых): давление ≥300 мбар — жёсткая грудная клетка, вакуумный колокол неэффективен
E. Yi и соавт.	63(61:2)	8–45 (15,4±6,2)	2,2–8,3 (3,6±1,0)	—	Предварительная оценка эффективности вакуумного колокола с помощью компьютерной томографии
E. St-Louis и соавт.	31	6–21 (14)	2,9–6,1 (3,9)	1,3–3,5 (2,3)	Уменьшение глубины деформации и индекса Галлера на 80%
X. Deng и соавт.	42 (26:16)	2,2–6,2 (3,6)	3,07±0,42	—	У 30 (71%) пациентов уменьшение индекса Галлера и глубины деформации; 3 (7%) пациента закончили лечение
L. Toselli и соавт.	186	—	—	1,2–2,6	35% отличные/хорошие 25% удовлетворительные 40% плохие

Авторы пришли к выводам, что результаты лечения ВК сопоставимы с результатами хирургической коррекции и что ВК-терапия может стать альтернативным методом лечения у пациентов, желающих избежать операции [24].

На сегодня остаётся открытым вопрос, кто является идеальным кандидатом для консервативного лечения ВДГК с помощью ВК. S.Y. Тогого и соавт. оценивали степень подъёма грудины при кратковременном использовании ВК. Так, 29 пациентам в возрасте от 11 до 35 лет сравнивали изменения ИГ и грудинно-verteбрального расстояния, выполняя КТ до и сразу после установки ВК. Изменение грудинно-verteбрального расстояния варьировалось от 0,29 до 23,67 мм (M=11,02, σ=6,05), а улучшение ИГ составило от 0,07 до 2,67 (M=0,76, σ=0,52). Авторы определили, что лучшие результаты были достигнуты у пациентов с низким индексом массы тела (ИМТ) и небольшой

глубиной деформации. Эффективность ВК не была связана с полом, возрастом и морфологией грудной клетки [25].

Целью исследования E. Yi и соавт. был подбор пациентов, у которых ВК был наиболее эффективен. Всем 63 пациентам измеряли ИГ по данным КТ до лечения и через 30 мин после использования ВК, с целью прогнозирования улучшения ИГ и оценки гибкости грудной клетки. Через 1 г. измерение повторяли. Авторы выявили корреляцию между величиной ИГ после 30-минутного использования ВК и через 1 г. Эти показатели свидетельствуют о гибкости, податливости грудной клетки и позволяют прогнозировать эффективность лечения. Авторы отметили, что консервативное лечение было эффективнее у пациентов с более низким ИМТ [26].

Также эффективность ВК была подтверждена с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ).

Таблица 2. Рекомендации анализируемых статей при консервативном лечении воронкообразной деформации грудной клетки с помощью вакуумного колокола

Table 2. Recommendations of the analyzed articles in the conservative treatment of funnel-shaped chest deformity using a vacuum bell

Исследование	Возраст начала лечения, лет	Время ежедневного использования, ч	Срок лечения, мес.	Критерии эффективности лечения	Методы контроля
F. Schier и соавт.	—	1,5 (1–5)	≥10	—	Рентгенография грудной клетки, измерение глубины деформации
F.M. Haecker и соавт.	≤10	≥1	≥12 (12–36)	Возраст, глубина деформации (<3 см), гибкость грудной клетки, симметричность деформации, срок лечения	Измерение глубины деформации
R.J. Obermeyer и соавт.	≤11	≥1	≥12	Глубина деформации ≤1,5 см, возраст, гибкость грудной клетки, срок лечения	Измерение глубины деформации
S.B. Sesia и соавт.	≤10	—	—	Возраст, гибкость грудной клетки, глубина деформации	Измерение глубины деформации
M. Lopez и соавт.	≤12	≥4	≥10 (6–18)	Возраст и гибкость грудной клетки	Измерение глубины деформации, индекс Галлера по данным компьютерной томографии
E. Yi и соавт.	—	—	≥12	Симметричность деформации, гибкость грудной клетки, индекс Галлера, низкий индекс массы тела	Индекс Галлера по данным компьютерной томографии
E. St-Louis и соавт.	≤10	≥2	≥18	Время ежедневного использования и срок лечения	Измерение глубины деформации
X. Deng и соавт.	2–6	≥1,5	≥6	Гибкость грудной клетки	Компьютерная томография, 3D сканирование
L. Toselli и соавт.	—	—	≥12	Глубина деформации ≤1,8 см и срок лечения	Измерение глубины деформации
Y. Gao и соавт.	≤10	>2 (2–5)	2–3 года с момента достижения отличного результата	Возраст, симметричность деформации, гибкость грудной клетки	Измерение глубины деформации, индекс Галлера по данным 3D-сканирования

В настоящее время зарубежные авторы считают МРТ сердца «золотым стандартом» оценки кардиальной функции при ВДГК, однако этот метод дорогостоящий и в рутинной практике не используется [27]. L. Monti и соавт. производили пациентам неинвазивное поднятие грудины с помощью ВК во время МРТ сердца, оценивая кардиальные показатели до и после коррекции. Авторы доказали, что поднятие грудины, привело к немедленному увеличению фракции выброса правого желудочка, конечного диастолического объёма левого желудочка и бивентрикулярного ударного индекса [28].

В литературе практически нет данных об отдалённых результатах лечения, в основном описаны лишь единичные случаи. В самой большой серии наблюдений (n=434) F.M. Haecker и соавт. сообщили о 61 пациенте, каждый из которых полностью закончил лечение средней

продолжительностью 21,8 мес. — за период наблюдения 27,8 мес. после окончания лечения рецидивов ВДГК не было [17]. Аналогичные результаты получены M. Lopez и соавт. — у 23 пациентов (31,5%), полностью окончивших лечение, рецидива ВДГК не наблюдалось, период наблюдения составил в среднем 13 мес. [21].

За последнее десятилетие возникло много вопросов относительно основных факторов, влияющих на эффективность лечения: возраст начала лечения, продолжительность лечения, эластичность грудной клетки и др.

Большинство авторов придерживаются мнения, что ВК показан в детском возрасте при неглубоких, симметричных деформациях, пациентам, отказывающимся от оперативного лечения, а также пациентам, перенёвшим операцию на грудной клетке, в связи с высокими операционными рисками (табл. 2) [16, 20–22, 29]. Основ-

ными противопоказаниями являются заболевания скелета (незрелый остеогенез, остеопороз и т. д.), васкулопатии (синдром Марфана, аневризма аорты), коагулопатии (гемофилии, тромбоцитопении), сердечные заболевания [14, 16, 20, 30, 31].

Оптимальный возраст начала лечения

Многие авторы отмечают, что ВК более эффективен в детском возрасте. Несколько исследований показали лучшие результаты лечения у детей, чем у взрослых [18, 21]. F.M. Naescker и соавт., оценив результаты лечения 434 пациентов, рекомендуют начинать терапию ВК до 10 лет [18]. R.J. Obermeyer и соавт., пролечив 115 пациентов в возрасте от 4 до 23 лет, пришли к выводу, что возраст до 11 лет является фактором, определяющим эффективность консервативного лечения, тогда как пациенты старше 18 лет ($n=4$) не достигли хорошего результата коррекции [20]. E. St-Louis и соавт. сообщили о значительном улучшении ИГ у детей в возрасте до 10 лет [22]. Это означает, что скачок роста в пубертатном периоде приводит к прогрессированию деформации, уменьшению эластичности грудной клетки и в дальнейшем малой эффективности ВК. Именно на этот этап необходимо повлиять [18, 20, 31, 32].

Глубина и тип деформации

R.J. Obermeyer и соавт. отметили, что глубина деформации $<1,5$ см является предиктором отличного результата при лечении ВК, а тип деформации (симметричный, чашеобразный) не влияет на результат [20]. Также L. Toselli и соавт. сочли, что на эффективность лечения влияет глубина деформации $<1,8$ см [23]. F.M. Naescker и соавт., пришли к выводу, что глубина деформации <3 см и симметричный тип являются одними из основных факторов прогнозирующих отличные результаты [18].

Время ежедневного применения

На сегодня нет единых данных о том, сколько же часов в день необходимо носить ВК для достижения наилучшего результата, и играет ли время ежедневного применения ключевую роль. Первоначальный подход, предложенный F. Schier и соавт., предполагал ежедневное использование от 30 мин до 5 ч два раза в день [19]. F.M. Naescker и соавт. предложили использовать колокол столько часов, сколько сможет пациент, они также отметили, что частота и время ежедневного применения зависит от мотивации пациента [17, 18]. Серия случаев, описанная E. St-Louis и соавт., показала значительное уменьшение глубины деформации у пациентов, которые использовали ВК >2 ч в день по сравнению с теми, кто носил менее 2 ч [22]. X. Deng и соавт. рекомендуют использовать ВК более 1,5 ч в день, однако результат лечения оценивался у пациентов в возрасте 2–6 лет [29]. Рекомендации по ежедневному времени использования также были предложены M. Lopez

и соавт. — они отметили, что хорошие результаты лечения были достигнуты при использовании ВК более 4 ч в день [21]. Напротив, R.J. Obermeyer и соавт. в ретроспективном исследовании обнаружили, что ежедневное применение ВК более 60 мин в день не повлияло на улучшение результатов лечения [20]. Y. Gao и соавт. рекомендуют своим пациентам поэтапный подход: в первый мес. по 20–30 мин 4 раза в день, далее по 30–60 мин 4 раза в день [33].

Продолжительность лечения

Многие авторы сходятся во мнении, что продолжительность лечения должна быть больше 12 мес. [18, 20, 23, 26]. F.M. Naescker и соавт. сообщают, что у детей и подростков с мягкой грудной клеткой и симметричной деформацией глубиной <3 см продолжительность лечения составит от 12 до 15 мес. У взрослых пациентов и подростков с жесткой грудной клеткой и глубиной деформации >3 см сроки лечения возрастают и составляют от 24 до 36 мес. [18]. В исследовании E. St-Louis и соавт. средняя продолжительность терапии ВК составила 18 мес. (12–24 мес.) [20]. M. Lopez и соавт. отмечают, что для достижения полного исправления деформации в среднем потребовалось около 10 мес. (4–21 мес.) [21]. Анализируя результаты консервативного лечения у детей младшего возраста (2–6 лет), X. Deng и соавт. говорят о том, что продолжительность лечения должна составлять больше 6 мес. [29]. Y. Gao и соавт. считают, что продолжительность лечения должна составлять 2–3 г. с момента достижения полной коррекции деформации или до окончания полового созревания [33].

Эластичность грудной клетки

F.M. Naescker и соавт. совместно с инженерами разработали устройство, измеряющее глубину деформации (расстояние от наиболее глубокой точки до датчика) и отрицательное давление во время ношения ВК. В пилотное исследование они включили 53 пациента в возрасте от 6 до 20 лет и выявили положительную корреляцию между приложенным отрицательным давлением и возрастом пациента: чем моложе пациент, тем меньшее приложенное отрицательное давление, тем более эластичная грудная клетка и короче продолжительность лечения. Так, чтобы поднять грудную клетку 8-летнего пациента на 1 см, нужно создать отрицательное давление 62 мбар, 19-летнего — 110 мбар. Для лечения 44-летнего пациента потребуется 225 мбар в начале лечения и 125 мбар через 3 мес. — это может говорить о том, что терапия ВК повышает эластичность грудной клетки [31].

R.J. Obermeyer и соавт. оценивали эластичность грудной клетки у 180 пациентов с помощью манёвра Вальсальвы — уплощение передней грудной стенки на максимальном вдохе. Если результат этого теста был положительным, то пациента классифицировали как имеющего эластичную грудную клетку. Этот показатель служил одним из основных предикторов эффективности консервативного лечения [20].

Методы контроля результатов лечения

В большей части публикаций, посвящённых консервативному лечению ВДГК, с целью контроля результатов лечения используется линейное измерение глубины деформации [18–20, 22, 23, 31]. Однако эти данные не всегда бывают точными, во многом зависят от фазы дыхания пациента, от типа и симметричности деформации. Многие авторы к измерению глубины для более точной оценки добавляют результаты КТ и рентгенографии [21, 26, 29]. Учёные из Китая предлагают альтернативный метод контроля лечения с помощью 3D-сканера, чтобы избежать лучевой нагрузки. Z. Shi и соавт. проводили КТ и одновременно измеряли поверхность грудной клетки 3D-сканером. Авторы нашли, что ИГ по данным КТ $>3,2$ соответствует и ИГ по данным 3D-сканирования $>1,7$, и что эти значения являются показанием к оперативному методу коррекции [34].

Y. Gao и соавт. исследовали 82 пациента в возрасте 3–17 лет с помощью 3D-сканера. Они измеряли глубину деформации и ИГ до лечения и каждые 3 мес. в течение года. Отличного результата (глубины деформации <3 мм) достигли 24 (29,3%) пациента, у 52 (63,4%) — наблюдалось улучшение, у 6 (7,3%) — результаты были неудовлетворительными. Авторы пришли к выводу, что 3D-сканер — удобный и объективный безлучевой метод диагностики и наблюдения за пациентами с ВДГК. Он может частично заменить КТ, но на определение ИГ могут влиять такие факторы, как толщина подкожной жировой клетчатки, ширина позвоночника и дыхание в процессе сканирования [33].

На сегодня в мире существует множество различных модификаций ВК. Учёные из Китая X. Deng и соавт. производят индивидуальные ВК, сканируя вентральную поверхность грудной клетки с помощью 3D-сканера и создавая оптимальные модели на 3D-принтере. Контроль результатов лечения также осуществляется с помощью 3D-сканера. Индивидуальные колокола можно использовать для лечения пациентов со сложной асимметричной деформацией и пациенток с формирующимися молочными железами [35].

В исследовании S. Furuta и соавт. для оценки эффективности консервативного лечения ретроспективно анализировали глубину деформации и ИГ. В исследование включили 15 пациентов, которые были разделены на 2 группы в зависимости от возраста: 1 группа — дети до 13 лет, 2 группа — старше 13 лет. Всем пациентам измеряли глубину деформации и ИГ до и после лечения. Авторы установили, что глубина деформации уменьшилась у 93,3% пациентов, однако ИГ изменился незначительно. Это связано со значительным увеличением объёма подкожной жировой клетчатки у 11 из 15 пациентов в среднем на 8,7 мм. S. Furuta и соавт. первые и единственные в мире сообщили, что глубина деформации уменьшается в основном за счёт увеличения подкожной жировой

клетчатки, а не подъёма грудины. Таким образом, любые поверхностные методы измерения могут быть недостоверными и давать ложноположительные результаты [36].

Физиотерапия и лечебная физкультура

Многие авторы обращают внимание на то, что занятие спортом, лечебная физкультура (ЛФК) и физиотерапия (ФТ) являются неотъемлемой частью консервативного лечения ВДГК [37–40]. Также большое внимание стоит уделять профилактике нарушения осанки — данная патология часто встречается у пациентов с ВДГК и синдромом дисплазии соединительной ткани и зачастую способствует прогрессированию деформации [41]. Целью исследования E. Amaricaí и соавт. было сравнить функциональные возможности здоровых детей и 14 больных ВДГК в сочетании с кифозом грудного отдела позвоночника. Больным не было показано оперативное лечение (ИГ $<3,25$). Они прошли 12-недельные курсы ФТ и ЛФК, которые были направлены на коррекцию осанки, укрепление мышц спины и грудной клетки, повышение физической работоспособности. Параметры функциональных возможностей оценивались до и после 12-недельного курса реабилитации с помощью спирометрии и пульсоксиметрии. Так у детей с ВДГК значительно увеличились объём форсированного выдоха за первую секунду, форсированная жизненная ёмкость лёгких, улучшились результаты теста на 6-минутную ходьбу. Однако показатели все равно были ниже, чем у здоровых детей [37]. В исследовании N. Alasa и соавт. оценивали эффективность ФТ и ЛФК, применяемых в дополнение к лечению ВК. В исследование вошли 26 пациентов с ВДГК в возрасте 11–18 лет, которые были рандомизированы на 2 равные группы: пациенты 1 группы использовали ВК по 30–60 мин 2 раза в день; пациенты 2 группы использовали ВК в том же режиме и прошли 12-недельный курс реабилитации. Программа реабилитации включала курсы дыхательных и аэробных упражнений, гимнастику и упражнения, направленные на исправление осанки, укрепление мышц спины и груди. Через 12 нед. проводили антропометрические измерения деформаций, нарушений осанки и оценивали качество жизни по различным шкалам. Так, внешнее измерение окружности грудной клетки, глубины деформации и антропометрический индекс по E.B. Rebeis и соавт. [42] (отношение глубины деформации к переднезаднему размеру грудной клетки в области нижней трети грудины) улучшились у пациентов обеих групп ($p < 0,05$), но у пациентов 2 группы результаты были лучше ($p < 0,05$). Оценка по шкале восприятия пациентом своей деформации улучшилась в обеих группах, тогда как оценка по шкалам удовлетворённости лечением и качества жизни по модифицированному опроснику Насса для взрослых (NQ-mA) [43, 44] значительно улучшились у пациентов 2 группы ($p < 0,05$). Улучшение осанки наблюдалось только у пациентов, прошедших курс реабилитации [45].

Осложнения при лечении вакуумным колоколом

Осложнения при лечении ВК встречаются часто, но они, как правило, не тяжёлые и быстро проходят. Почти каждый пациент при первых применениях ВК предъявляет жалобы на боль и дискомфорт в области грудной клетки. Частым осложнением являются петехии, подкожная гематома (29–68%) [16, 20, 22, 29, 33], утолщение и потемнение кожи в месте контакта с ВК (9,7%) [14, 22], боли в спине (6,5%) [19, 22], волдыри (6,5–30%) [14, 22, 29]. Некоторые пациенты жаловались на преходящую парестезию верхних конечностей [16, 19], а пациентки подросткового возраста — на дискомфорт в области молочных желёз [33]. Все эти проявления быстро проходили после снятия ВК и не требовали обезболивания. Для уменьшения побочных эффектов ВК L. Toselli и соавт. изготовили портативный вакуумметр для амбулаторного использования пациентами. Все пациенты постепенно увеличивали отрицательное давление, начиная с 30 мбар в течение первых нескольких нед. При совместном использовании вакуумметра и ВК никаких побочных эффектов не наблюдалось [46]. Некоторые специалисты сходятся во мнении, что постепенное увеличение отрицательного давления, в течение первых мес., имеет решающее значение для предотвращения повреждений кожи и обеспечения адаптации мягких тканей грудной стенки к ВК [20, 21, 46].

Интраоперационное использование вакуумного колокола

Операция по методу Насса в настоящее время является самой распространённой при коррекции ВДГК. Несмотря на то, что операция связана с более высоким риском повреждения сердца и необходимостью введения металлической пластины, превосходный косметический результат и отсутствие необходимости в резекции хрящей делают её более предпочтительной по сравнению с методом Равича [47]. Наряду с широким использованием операции Насса в качестве «золотого стандарта» хирургического лечения ВДГК увеличилось общее число осложнений и осложнений, близких к летальному исходу. Также в литературе сообщалось о случае остановки сердца без прямого повреждения сердца во время операции Насса у больного ВДГК с коронарно-лёгочными артериальными шунтами и у больного без сердечных аномалий. J. Zou и соавт. описали 2 случая остановки сердца во время проведения и после поворота корригирующей пластины [48].

В последнее время все большее число авторов сообщают о рутинном использовании методов элевации грудины во время операции Насса для повышения безопасности и снижения частоты осложнений [49–51]. Для профилактики травмы сердца, существует несколько

методов с использованием различных устройств, включая кран и проволоочный шов, подъёмный крюк, ВК, ретрактор Кента или Лангенбека в сочетании с дополнительными разрезами.

Применение ВК для элевации грудины подробно описано в работе F.M. Naescker и соавт. ВК обеспечивал достоверное поднятие грудины, подтверждённое при торакокопии. Продвижение интродьюсера и установка пластины были безопасными, успешными и неосложнёнными у всех пациентов (даже у пациентов старше 25 лет). Не было отмечено случаев поражения сердца, перикарда или сосудов грудной полости [52]. В отличие от других методов элевации грудины, ВК не требует дополнительных разрезов кожи или проколов и поэтому не оставляет послеоперационных рубцов. F.M. Naescker и соавт. рекомендуют рутинное интраоперационное использование ВК при операции по методу Насса. Одним из аргументов в пользу ВК является то, что техника элевации грудины должна быть направлена на улучшение аспектов качества и безопасности вмешательства без дополнительного образования видимых послеоперационных рубцов. Безусловно, тяжесть деформации, эластичность передней грудной стенки и возраст пациента — важные аспекты, способные повлиять на качество и безопасность элевации грудины.

Поскольку ВК является наименее инвазивным из всех доступных методов, но не менее эффективным, ряд авторов рекомендует его интраоперационное применение в качестве неотъемлемой части стандартизированной операции Насса [53, 54].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ВК является эффективным и безопасным методом лечения ВДГК. По сравнению с хирургическим вмешательством, элевация грудины ВК сопровождается небольшим количеством не тяжёлых осложнений. ВК наиболее эффективен у пациентов раннего возраста, с неглубокой симметричной деформацией и эластичной грудной клеткой. Однако 5,5–17,8% пациентов отказывались от лечения и/или прибегли к оперативному методу из-за неудовлетворительного результата или снижения мотивации [18, 21, 22]. Это указывает на важность тщательного отбора пациентов, учитывая их индивидуальные особенности и мотивацию. Объективно оценить эффективность лечения достаточно сложно. Оценка должна включать рентгенологические и визуальные методы контроля. ВК можно использовать интраоперационно при выполнении торакопластики по Нассу — он неинвазивно поднимает грудину, позволяя безопасно провести интродьюсер и пластину. Вопрос о постоянстве результата консервативного лечения остаётся актуальным, требует исследований с более длительным катамнезом и большим количеством пациентов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Статья публикуется без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Наибольший вклад распределён следующим образом: А.О. Шомина, З.Б. Митупов, Г.С. Гын-ку, А.А. Павлов — сбор и обработка материала, написание текста; В.И. Нурик, А.Ю. Разумовский — редактирование.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. The publication had no sponsorship.

Competing interests. The authors claim that there is no conflict of interest in the article.

Authors' contribution. All authors confirm compliance of their authorship with the international ICMJE criteria. The largest contribution is distributed as follows: A.O. Shominova, Z.B. Mitupov, G.S. Gincu, A.A. Pavlov — the collection and processing of the material, writing the text; A.Yu. Razumovskii, V.I. Nurik — editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алхасов А.Б., Батраков С.Ю. Воронкообразная деформация грудной клетки. В кн.: Детская хирургия: национальное руководство / под ред. А.Ю. Разумовского. 2-е изд. Серия «Национальные руководства». Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. С. 86–91. doi: 10.33029/9704-5785-6-PSNR-2021-2-1-1280
2. Кулик И.О., Плякин В.А., Саруханян О.О., и др. Этиология и патогенез воронкообразной деформации грудной клетки у детей // Травматология и ортопедия России. 2013. № 2. С. 136–141. EDN: QJEVKJ
3. 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. Vol. 21, N 1. P. 44–57. EDN: XWYVFI doi: 10.1053/j.semtcvs.2009.03.001
4. Saxena A.K. Overview of repair of pectus excavatum type of deformities. Chest wall de-formities. Berlin: Springer, 2017. P. 329–349. doi: 10.1007/978-3-662-53088-7_27
5. Lopushinsky S.R., Fecteau A.H. Pectus deformities: A review of open surgery in the modern era // *Semin Pediatr Surg.* 2008. Vol. 17, N 3. P. 201–208. doi: 10.1053/j.sempedsurg.2008.03.009
6. Kelly A.M., Frauenfelder T., Hodler J., et al. Diseases of the chest wall, pleura, and dia-phragm // Hodler J., Kubik-Huch R.A., von Schulthess G.K., editors. Diseases of the chest, breast, heart and vessels 2019–2022: Diagnostic and interven-tional imaging [Internet]. Cham (CH): Springer, 2019. Chapter 9. P. 95–106. doi: 10.1007/978-3-030-11149-6_9
7. Комолкин И.А., Афанасьев А.П., Щеголев Д.В. Роль наследственности в происхождении врожденных деформаций грудной клетки (обзор литературы) // Гений ортопедии. 2012. № 2. С. 152–156. EDN: PBXKJB
8. Baran S., Ignys A., Ignys I. Respiratory dysfunction in patients with Marfan syndrome // *J Physiol Pharmacol.* 2007. Vol. 58, Suppl. 5, Pt. 1. P. 37–41.
9. Kelly R.E. Pectus excavatum: Historical background, clinical picture, preoperative evaluation and criteria for operation // *Semin Pediatr Surg.* 2008. Vol. 17, N 3. P. 181–193. doi: 10.1053/j.sempedsurg.2008.03.002
10. Kelly R.E., Goretsky M.J., Obermeyer R., et al. Twenty-one years of experience with mini-mally invasive repair of pectus excavatum by the nuss procedure in 1215 patients // *Ann Surg.* 2010. Vol. 252, N 6. P. 1072–1081. doi: 10.1097/SLA.0b013e3181effdce
11. Robicsek F., Watts L.T. Surgical correction of pectus excavatum. How did we get here? Where are we going? // *Thorac Cardiovasc Surg.* 2011. Vol. 59, N 1. P. 5–14. doi: 10.1055/s-0030-1250602
12. Goretsky M.J., Kelly R.E., Croitoru D., Nuss D. Chest wall anomalies: Pectus excavatum and pectus carinatum // *Adolesc Med Clin.* 2004. Vol. 15, N 3. P. 455–471. doi: 10.1016/j.admecli.2004.06.002
13. Park H.J., Lee I.S., Kim K.T. Extreme eccentric canal type pectus excavatum: Morphological study and repair techniques // *Eur J Cardiothorac Surg.* 2008. Vol. 34, N 1. P. 150–154. doi: 10.1016/j.ejcts.2008.03.044
14. Loufopoulos I., Karagiannidis I.G., Lampridis S., et al. Vacuum bell: Is it a useful innovative device for pectus excavatum correction? // *Turk Thorac J.* 2021. Vol. 22, N 3. P. 251–256. doi: 10.5152/TurkThoracJ.2021.20035
15. Jaroszewski D., Notrica D., McMahon L., et al. Current management of pectus excavatum: A review and update of therapy and treatment recommendations // *J Am Board Fam Med.* 2010. Vol. 23, N 2. P. 230–239. doi: 10.3122/jabfm.2010.02.090234
16. Haecker F.M. The vacuum bell for conservative treatment of pectus excavatum: The basle experience // *Pediatr Surg Int.* 2011. Vol. 27, N 6. P. 623–627. EDN: KFRHMI doi: 10.1007/s00383-010-2843-7
17. Haecker F.M., Sesia S. Non-surgical treatment of pectus excavatum // *J Vis Surg.* 2016. Vol. 23, N 2. P. 63. doi: 10.21037/jovs.2016.03.14
18. Haecker F.M., Sesia S. Vacuum bell therapy // *Ann Cardiothorac Surg.* 2016. Vol. 5, N 5. P. 440–449. doi: 10.21037/acs.2016.06.06
19. Schier F., Bahr M., Klobe E. The vacuum chest wall lifter: An innovative, nonsurgical addi-tion to the management of pectus excavatum // *J Pediatr Surg.* 2005. Vol. 40, N 3. P. 496–500. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2004.11.033
20. Obermeyer R.J., Cohen N.S., Kelly R.E., et al. Nonoperative management of pectus excava-tum with vacuum bell therapy: A single center study // *J Pediatr Surg.* 2018. Vol. 53, N 6. P. 1221–1225. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2018.02.088
21. Lopez M., Patoir A., Costes F., et al. Preliminary study of efficacy of cup suction in the cor-rection of typical pectus excavatum // *J Pediatr Surg.* 2016. Vol. 51, N 1. P. 183–187. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2015.10.003
22. St-Louis E., Miao J., Emil S., et al. Vacuum bell treatment of pectus excavatum: An early North American experience // *J Pediatr Surg.* 2019. Vol. 54, N 1. P. 194–199. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2018.10.011
23. Toselli L., Vallee M., Elmo G., et al. Implementation and acceptance rates of a specially de-signed vacuumometer for the vacuum bell treatment of pectus excavatum // *J Pediatr Surg.* 2021. Vol. 56, N 12. P. 2235–2238. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2021.03.008
24. Jung Y., Yi E., Lee K., et al. Surgical versus vacuum bell therapy for the correction of pectus excavatum: A comparison of 1-year treatment outcomes // *J Chest Surg.* 2021. Vol. 54, N 6. P. 473–479. doi: 10.5090/jcs.21.073
25. Togoro S.Y., Tedde M.L., Eisinger R.S., et al. The vacuum bell device as a sternal lifter: An immediate effect even with a short time use // *J Pediatr Surg.* 2018. Vol. 53, N 3. P. 406–410. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2017.04.016
26. Yi E., Lee K., Jung Y., et al. Finding suitable candidates for vacuum bell therapy in pectus ex-cavatum patients // *Sci Rep.* 2021. Vol. 11, N 1. P. 22787. doi: 10.1038/s41598-021-02250-x

27. Mertens L.L., Friedberg M.K. Imaging the right ventricle--current state of the art // *Nat Rev Cardiol*. 2010. Vol. 7, N 10. P. 551–563. doi: 10.1038/nrcardio.2010.118
28. Monti L., Montini O., Voulaz E., et al. Cardiovascular magnetic resonance assessment of biventricular changes during vacuum bell correction of pectus excavatum // *J Thorac Dis*. 2019. Vol. 11, N 12. P. 5398–5406. doi: 10.21037/jtd.2019.12.41
29. Deng X., Huang P., Luo J., et al. A novel three-dimensional printed vacuum bell for pectus excavatum treatment: A preliminary study // *J Cardiothorac Surg*. 2020. Vol. 15, N 1. P. 240. doi: 10.1186/s13019-020-01276-y
30. Patel A.J., Hunt I. Is vacuum bell therapy effective in the correction of pectus excavatum? // *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2019. Vol. 29, N 2. P. 287–290. doi: 10.1093/icvts/ivz082
31. Sesia S.B., Hradetzky D., Haecker F.M. Monitoring the effectiveness of the vacuum bell during pectus excavatum treatment: Technical innovation // *J Pediatr Surg*. 2018. Vol. 53, N 3. P. 411–417. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2017.05.023
32. Nuss D., Obermeyer R.J., Kelly R.E. Pectus excavatum from a pediatric surgeon's perspective // *Ann Cardiothorac Surg*. 2016. Vol. 5, N 5. P. 493–500. doi: 10.21037/acs.2016.06.04
33. Gao Y., Li J.H., Yu J.G., et al. Noninvasive treatment of pectus excavatum with a vacuum bell combined with a three-dimensional scanner // *Pediatr Surg Int*. 2020. Vol. 36, N 10. P. 1205–1211. doi: 10.1007/s00383-020-04726-9
34. Shi Z., Li J., Gao Y., et al. Application of cameral-type three-dimensional scan in assessment of funnel chest. (In Chinese) // *Zhejiang Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*. 2018. Vol. 47, N 3. P. 289–293. doi: 10.3785/j.issn.1008-9292.2018.06.12
35. Deng X., Huang P., Luo J., et al. A novel three-dimensional printed vacuum bell for pectus excavatum treatment: A preliminary study // *J Cardiothorac Surg*. 2020. Vol. 15, N 1. P. 240. doi: 10.1186/s13019-020-01276-y
36. Furuta S., Nagae H., Ohyama K., et al. The vacuum treatment for the pectus excavatum thickened subcutaneous fat of the chest wall and is effective in preteenagers // *Pediatr Surg Int*. 2020. Vol. 36, N 12. P. 1465–1469. doi: 10.1007/s00383-020-04758-1
37. Amăricăi E., Suciu O., Onofrei R.R., et al. Assessment of children with pectus excavatum without surgical correction // *Wien Klin Wochenschr*. 2019. Vol. 131, N 5–6. P. 126–131. doi: 10.1007/s00508-018-1406-0
38. Kuhn M.A., Nuss D. Pectus deformities. In: Mattei P., editor. *Fundamentals of pediatric surgery*. New York: Springer, 2011. P. 313–321.
39. Schwabegger A.H., Kuhn A.M., Nuss D. Special techniques in the funnel chest deformity. In: Schwabegger A.H., editor. *Congenital thoracic wall deformities: diagnosis, therapy and current developments*. Vienna: Springer, 2011. P. 107–200.
40. Cheung S.Y. Exercise therapy in the correction of pectus excavatum // *J Pediatr Respir Crit Care*. 2005. N 1. P. 10–13.
41. Kelly R.E., Shamberger R.C. Congenital chest wall deformities. In: Coran A.G., Caldame A., Adzick N.S., et al., editors. *Pediatric surgery*. 7th ed. Amsterdam: Elsevier Saunders, 2012. P. 779–796.
42. Rebeis E.B., Campos J.R., Fernandez A., et al. Anthropometric index for Pectus excavatum // *Clinics (Sao Paulo)*. 2007. Vol. 62, N 5. P. 599–606. doi: 10.1590/s1807-59322007000500011
43. Norlander L., Karlsson J., Anderzén-Carlsson A., et al. Translation and psychometric evaluation of the Swedish versions of the nuss questionnaire modified for adults and the single step questionnaire // *J Patient Rep Outcomes*. 2021. Vol. 5, N 1. P. 21. doi: 10.1186/s41687-021-00293-2
44. Bahadır A.T., Kuru P., Afacan C., et al. Validity and reliability of the Turkish version of the nuss questionnaire modified for adults // *Korean J Thorac Cardiovasc Surg*. 2015. Vol. 48, N 2. P. 112–119. doi: 10.5090/kjtc.2015.48.2.112
45. Alaca N., Alaca I., Yüksel M. Physiotherapy in addition to vacuum bell therapy in patients with pectus excavatum // *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2020. Vol. 31, N 5. P. 650–656. doi: 10.1093/icvts/ivaa161
46. Toselli L., Chinni E., Nazar-Peirano M., et al. Determinants of success associated with vacuum bell treatment of pectus excavatum // *J Pediatr Surg*. 2022. Vol. 57, N 11. P. 550–554. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2022.04.010
47. Croitoru D.P., Kelly R.E., Goretsky M.J., et al. Experience and modification update for the minimally invasive Nuss technique for pectus excavatum repair in 303 patients // *J Pediatr Surg*. 2002. Vol. 37, N 3. P. 437–445. doi: 10.1053/jpsu.2002.30851
48. Zou J., Luo C., Liu Z., Cheng C. Cardiac arrest without physical cardiac injury during Nuss repair of pectus excavatum // *J Cardiothorac Surg*. 2017. Vol. 12, N 1. P. 61. doi: 10.1186/s13019-017-0624-2
49. Becmeur F., Ferreira C.G., Haecker F.M., et al. Pectus excavatum repair according to Nuss: Is it safe to place a retrosternal bar by a transpleural approach, under thoracoscopic vision? // *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*. 2011. Vol. 21, N 8. P. 757–761. doi: 10.1089/lap.2011.0035
50. Bouchard S., Hong A.R., Gilchrist B.F., Kuenzler K.A. Catastrophic cardiac injuries encountered during the minimally invasive repair of pectus excavatum // *Semin Pediatr Surg*. 2009. Vol. 18, N 2. P. 66–72. doi: 10.1053/j.sempedsurg.2009.02.002
51. Hebra A. Minor and major complications related to minimally invasive repair of pectus excavatum // *Eur J Pediatr Surg*. 2018. Vol. 28, N 4. P. 320–326. doi: 10.1055/s-0038-1670690
52. Haecker F.M., Sesia S.B. Intraoperative use of the vacuum bell for elevating the sternum during the Nuss procedure // *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*. 2012. Vol. 22, N 9. P. 934–936. doi: 10.1089/lap.2012.0030
53. Haecker F.M., Krebs T., Kocher G.J., et al. Sternal elevation techniques during the minimally invasive repair of pectus excavatum // *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2019. Vol. 29, N 4. P. 497–502. doi: 10.1093/icvts/ivz142
54. Elsayed H. Crane technique with the vacuum bell device for improving access in the Nuss procedure // *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2015. Vol. 150, N 5. P. 1372–1373. doi: 10.1016/j.jtcvs.2015.03.064

REFERENCES

1. Alkhasov AB, Batrakov SYu. Funnel-shaped deformity of the thorax. In: Razumovsky AYu editor. *Paediatric surgery: National guide*. 2nd ed. Series "National Guidelines". Moscow: GEOTARMedia; 2021. P.86–91. (In Russ.) doi: 10.33029/9704-5785-6-PSNR-2021-2-1-1280
2. Kulik IO, Plyakin VA, Sarukhanyan OO. Etiology and pathogenesis of pectus excavatum in children. *Traumatology and orthopedics of Russia*. 2013;(2):136–141. EDN: QJEVKJ
3. Fokin AA, Steuerwald NM, Ahrens WA, Allen KE. Anatomical, histologic, and genetic characteristics of congenital chest wall

- deformities. *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* 2009;21(1):44–57. EDN: XWYVFI doi: 10.1053/j.semtcvs.2009.03.001
4. Saxena AK. Overview of repair of pectus excavatum type of deformities. In book: Chest wall deformities. Berlin: Springer; 2017. P.329–349. doi: 10.1007/978-3-662-53088-7_27
5. Lopushinsky SR, Fecteau AH. Pectus deformities: A review of open surgery in the modern era. *Semin Pediatr Surg.* 200;17(3):201–208. doi: 10.1053/j.sempedsurg.2008.03.009
6. Kelly AM, Frauenfelder T, Hodler J, et al. Diseases of the chest wall, pleura, and diaphragm. In: Hodler J, Kubik-Huch RA, von Schulthess GK, editors. *Diseases of the chest, breast, heart and vessels 2019–2022: Diagnostic and interventional imaging* [Internet]. Cham (CH): Springer; 2019. Chapter 9. P:95–106. doi: 10.1007/978-3-030-11149-6_9
7. Komolkin IA, Afanasyev AP, Shchegolev DV. The role of heredity in the occurrence of the chest congenital deformities (review of the literature). *Genij ortopedii.* 2012;(2):152–156. EDN: PBXKJB
8. Baran S, Ignyś A, Ignyś I. Respiratory dysfunction in patients with Marfan syndrome. *J Physiol Pharmacol.* 2007;58(Suppl 5, Pt 1):37–41.
9. Kelly RE. Pectus excavatum: Historical background, clinical picture, preoperative evaluation and criteria for operation. *Semin Pediatr Surg.* 2008;17(3):181–193. doi: 10.1053/j.sempedsurg.2008.03.002
10. Kelly RE, Goretsky MJ, Obermeyer R, et al. Twenty-one years of experience with minimally invasive repair of pectus excavatum by the Nuss procedure in 1215 patients. *Ann Surg.* 2010;252(6):1072–1081. doi: 10.1097/SLA.0b013e3181effdce
11. Robicsek F, Watts LT. Surgical correction of pectus excavatum. How did we get here? Where are we going? *Thorac Cardiovasc Surg.* 2011;59(1):5–14. doi: 10.1055/s-0030-1250602
12. Goretsky MJ, Kelly RE, Croitoru D, Nuss D. Chest wall anomalies: Pectus excavatum and pectus carinatum. *Adolesc Med Clin.* 2004;15(3):455–471. doi: 10.1016/j.admecli.2004.06.002
13. Park HJ, Lee IS, Kim KT. Extreme eccentric canal type pectus excavatum: Morphological study and repair techniques. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2008;34(1):150–154. doi: 10.1016/j.ejcts.2008.03.044
14. Loufopoulos I, Karagiannidis IG, Lampridis S, et al. Vacuum bell: Is it a useful innovative device for pectus excavatum correction? *Turk Thorac J.* 2021;22(3):251–256. doi: 10.5152/TurkThoracJ.2021.20035
15. Jaroszewski D, Notrica D, McMahon L, et al. Current management of pectus excavatum: A review and update of therapy and treatment recommendations. *J Am Board Fam Med.* 2010;23(2):230–239. doi: 10.3122/jabfm.2010.02.090234
16. Haecker FM. The vacuum bell for conservative treatment of pectus excavatum: The basle ex-perience. *Pediatr Surg Int.* 2011;27(6):623–627. EDN: KFRHMI doi: 10.1007/s00383-010-2843-7
17. Haecker FM, Sesia S. Non-surgical treatment of pectus excavatum. *J Vis Surg.* 2016;23(2):63. doi: 10.21037/jovs.2016.03.14
18. Haecker FM, Sesia S. Vacuum bell therapy. *Ann Cardiothorac Surg.* 2016;5(5):440–449. doi: 10.21037/acs.2016.06.06
19. Schier F, Bahr M, Klobe E. The vacuum chest wall lifter: An innovative, nonsurgical addition to the management of pectus excavatum. *J Pediatr Surg.* 2005;40(3):496–500. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2004.11.033
20. Obermeyer RJ, Cohen NS, Kelly RE, et al. Nonoperative management of pectus excavatum with vacuum bell therapy: A single center study. *J Pediatr Surg.* 2018;53(6):1221–1225. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2018.02.088
21. Lopez M, Patoir A, Costes F, et al. Preliminary study of efficacy of cup suction in the correction of typical pectus excavatum. *J Pediatr Surg.* 2016;51(1):183–187. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2015.10.003
22. St-Louis E, Miao J, Emil S, et al. Vacuum bell treatment of pectus excavatum: An early North American experience. *J Pediatr Surg.* 2019;54(1):194–199. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2018.10.011
23. Toselli L, Vallee M, Elmo G, et al. Implementation and acceptance rates of a specially de-signed vacuummeter for the vacuum bell treatment of pectus excavatum. *J Pediatr Surg.* 2021;56(12):2235–2238. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2021.03.008
24. Jung Y, Yi E, Lee K, et al. Surgical versus vacuum bell therapy for the correction of pectus excavatum: A comparison of 1-year treatment outcomes. *J Chest Surg.* 2021;54(6):473–479. doi: 10.5090/jcs.21.073
25. Togoro SY, Tedde ML, Eisinger RS, et al. The vacuum bell device as a sternal lifter: An im-mediate effect even with a short time use. *J Pediatr Surg.* 2018;53(3):406–410. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2017.04.016
26. Yi E, Lee K, Jung Y, et al. Finding suitable candidates for vacuum bell therapy in pectus ex-cavatum patients. *Sci Rep.* 2021;11(1):22787. doi: 10.1038/s41598-021-02250-x
27. Mertens LL, Friedberg MK. Imaging the right ventricle--current state of the art. *Nat Rev Cardi-ol.* 2010;7(10):551–563. doi: 10.1038/nrcardio.2010.118
28. Monti L, Montini O, Voulaz E, et al. Cardiovascular magnetic resonance assessment of biven-tricular changes during vacuum bell correction of pectus excavatum. *J Thorac Dis.* 2019;11(12):5398–5406. doi: 10.21037/jtd.2019.12.41
29. Deng X, Huang P, Luo J, et al. A novel three-dimensional printed vacuum bell for pectus ex-cavatum treatment: A preliminary study. *J Cardiothorac Surg.* 2020;15(1):240. doi: 10.1186/s13019-020-01276-y
30. Patel AJ, Hunt I. Is vacuum bell therapy effective in the correction of pectus excavatum? *In-teract Cardiovasc Thorac Surg.* 2019;29(2):287–290. doi: 10.1093/icvts/ivz082
31. Sesia SB, Hradetzky D, Haecker FM. Monitoring the effectiveness of the vacuum bell during pectus excavatum treatment: Technical innovation. *J Pediatr Surg.* 2018;53(3):411–417. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2017.05.023
32. Nuss D, Obermeyer RJ, Kelly RE. Pectus excavatum from a pediatric surgeon's perspective. *Ann Cardiothorac Surg.* 2016;5(5):493–500. doi: 10.21037/acs.2016.06.04
33. Gao Y, Li JH, Yu JG, et al. Noninvasive treatment of pectus excavatum with a vacuum bell combined with a three-dimensional scanner. *Pediatr Surg Int.* 2020;36(10):1205–1211. doi: 10.1007/s00383-020-04726-9
34. Shi Z, Li J, Gao Y, et al. Application of cameral-type three-dimensional scan in assessment of funnel chest. (In Chinese). *Zhejiang Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban.* 2018;47(3):289–293. doi: 10.3785/j.issn.1008-9292.2018.06.12
35. Deng X, Huang P, Luo J, et al. A novel three-dimensional printed vacuum bell for pectus ex-cavatum treatment: A preliminary study. *J Cardiothorac Surg.* 2020;15(1):240. doi: 10.1186/s13019-020-01276-y
36. Furuta S, Nagae H, Ohyama K, et al. The vacuum treatment for the pectus excavatum thickened subcutaneous fat of the chest wall and is effective in preteenagers. *Pediatr Surg Int.* 2020;36(12):1465–1469. doi: 10.1007/s00383-020-04758-1
37. Amăricăi E, Suciu O, Onofrei RR, et al Assessment of children with pectus excavatum with-out surgical correction. *Wien Klin Wochenschr.* 2019;131(5-6):126–131. doi: 10.1007/s00508-018-1406-0
38. Kuhn MA, Nuss D. Pectus deformities. In: Mattei P, editor. *Fundamentals of pediatric surgery.* New York: Springer; 2011. P:313–321.
39. Schwabegger AH, Kuhn AM, Nuss D. Special techniques in the funnel chest deformity. In: Schwabegger AH, editor. *Congenital thoracic wall deformities: Diagnosis, therapy and current developments.* Vienna: Springer; 2011. P:107–200.
40. Cheung SY. Exercise therapy in the correction of pectus excavatum. *J Pediatr Respir Crit Care.* 2005;(1):10–13.

41. Kelly RE, Shamberger RC. Congenital chest wall deformities. In: Coran AG, Caldamone A, Adzick NS, et al., editors. *Pediatric surgery*. 7th ed. Amsterdam: Elsevier Saunders; 2012. P:779–796.
42. Rebeis EB, Campos JR, Fernandez A, et al. Anthropometric index for Pectus excavatum. *Clin-ics (Sao Paulo)*. 2007;62(5):599–606. doi: 10.1590/s1807-59322007000500011
43. Norlander L, Karlsson J, Anderzén-Carlsson AV, et al. Translation and psychometric evaluation of the Swedish versions of the nuss questionnaire modified for adults and the single step questionnaire. *J Patient Rep Outcomes*. 2021;5(1):21. doi: 10.1186/s41687-021-00293-2
44. Bahadır AT, Kuru P, Afacan C, et al. Validity and reliability of the Turkish version of the nuss questionnaire modified for adults. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg*. 2015;48(2):112–119. doi: 10.5090/kjtcs.2015.48.2.112
45. Alaca N, Alaca I, Yüksel M. Physiotherapy in addition to vacuum bell therapy in patients with pectus excavatum. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2020;31(5):650–656. doi: 10.1093/icvts/ivaa161
46. Toselli L, Chinni E, Nazar-Peirano M, et al. Determinants of success associated with vacuum bell treatment of pectus excavatum. *J Pediatr Surg*. 2022;57(11):550–554. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2022.04.010
47. Croitoru DP, Kelly RE, Goretsky MJ, et al. Experience and modification update for the mini-mally invasive Nuss technique for pectus excavatum repair in 303 patients. *J Pediatr Surg*. 2002;37(3):437–445. doi: 10.1053/jpsu.2002.30851
48. Zou J, Luo C, Liu Z, Cheng C. Cardiac arrest without physical cardiac injury during Nuss re-pair of pectus excavatum. *J Cardiothorac Surg*. 2017;12(1):61. doi: 10.1186/s13019-017-0624-2
49. Becmeur F, Ferreira CG, Haecker FM, et al. Pectus excavatum repair according to Nuss: Is it safe to place a retrosternal bar by a transpleural approach, under thoracoscopic vision? *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*. 2011;21(8):757–761. doi: 10.1089/lap.2011.0035
50. Bouchard S, Hong AR, Gilchrist BF, Kuenzler KA. Catastrophic cardiac injuries encountered during the minimally invasive repair of pectus excavatum. *Semin Pediatr Surg*. 2009;18(2):66–72. doi: 10.1053/j.sempedsurg.2009.02.002
51. Hebra A. Minor and major complications related to minimally invasive repair of pectus excavatum. *Eur J Pediatr Surg*. 2018;28(4):320–326. doi: 10.1055/s-0038-1670690
52. Haecker FM, Sesia SB. Intraoperative use of the vacuum bell for elevating the sternum during the Nuss procedure. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*. 2012;22(9):934–936. doi: 10.1089/lap.2012.0030
53. Haecker FM, Krebs T, Kocher GJ, et al. Sternal elevation techniques during the minimally invasive repair of pectus excavatum. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2019;29(4):497–502. doi: 10.1093/icvts/ivz142
54. Elsayed H. Crane technique with the vacuum bell device for improving access in the Nuss procedure. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2015;150(5):1372–1373. doi: 10.1016/j.jtcvs.2015.03.064

ОБ АВТОРАХ

* **Шомина Алена Олеговна;**

адрес: Россия, 117997, Москва, ул. Островитянова, д. 1;
ORCID: 0000-0001-7205-0937;
e-mail: alshominova@icloud.com

Митупов Зорикто Батоевич, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0002-0016-6444;
eLibrary SPIN: 5182-1748;
e-mail: zmitupov@mail.ru

Разумовский Александр Юрьевич, д-р мед. наук, профессор,
чл.-кор. РАН;

ORCID: 0000-0002-9497-4070;
eLibrary SPIN: 3600-4701;
e-mail: 1595105@mail.ru

Нурик Вера Исаковна, канд. мед. наук;

ORCID: 0009-0002-6025-1357;
eLibrary SPIN: 1431-2990;
e-mail: vera.nurik@mail.ru

Гынку Георге Степанович, д-р мед. наук;

ORCID: 0000-0003-4350-5423;
e-mail: laritei@mail.ru

Павлов Анатолий Александрович, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0003-1709-646X;
e-mail: doctorpavlov@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Alena O. Shominova, MD;**

address: 1 Ostrovityanova street, 117887 Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0001-7205-0937;
e-mail: alshominova@icloud.com

Zorikto B. Mitupov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0002-0016-6444;
eLibrary SPIN: 5182-1748;
e-mail: zmitupov@mail.ru

Aleksander Yu. Razumovskij, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor,
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences;

ORCID: 0000-0002-9497-4070;
eLibrary SPIN: 3600-4701;
e-mail: 1595105@mail.ru

Vera I. Nurik, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0009-0002-6025-1357;
eLibrary SPIN: 1431-2990;
e-mail: vera.nurik@mail.ru

George S. Gincu, MD, Dr. Sci. (Medicine),

ORCID: 0000-0003-4350-5423;
e-mail: laritei@mail.ru

Anatoliy A. Pavlov, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0003-1709-646X;
e-mail: doctorpavlov@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author