

УДК 616.712-007.24-053.2-089(048.8)
DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS112043>



Научный обзор

Хирургическое лечение детей с асимметричной воронкообразной деформацией грудной клетки (обзор литературы)

Б.Х. Долгиев, Д.В. Рыжиков, С.В. Виссарионов

Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия

Обоснование. Хирургическое лечение детей с воронкообразной деформацией грудной клетки является актуальной и до конца не решенной проблемой, несмотря на существование множества способов хирургической коррекции. Известные на данный момент методики не лишены недостатков и не позволяют решать все существующие задачи, особенно в отношении асимметричных форм воронкообразных деформаций грудной клетки.

Цель — проанализировать публикации, содержащие информацию о методиках хирургического лечения детей с воронкообразной деформацией грудной клетки.

Материалы и методы. В статье представлены результаты поиска литературы, посвященной методам хирургической коррекции воронкообразной деформации грудной клетки. Поиск данных проводили в базах научной литературы PubMed, Google Scholar, eLibrary по ключевым словам. Были выбраны 63 иностранных и отечественных источника за период с 1609 по 2022 г., из которых 29 за последние 10 лет.

Результаты. Среди множества методик коррекции деформации грудной клетки торакопластика по D. Nuss стала «золотым стандартом» лечения воронкообразных деформаций грудной клетки. Однако на данный момент не существует универсального варианта оперативного вмешательства, позволяющего достигать всех целей лечения. Используемые в современной хирургии способы коррекции воронкообразной деформации грудной клетки представляют собой преимущественно этапные модификации более ранних методов лечения.

Заключение. Недостатки современных торакопластик определяют необходимость поиска новых методик и совершенствования старых, а также формирования стандарта, удовлетворяющего хирургов и пациентов.

Ключевые слова: асимметричная, воронкообразная деформация грудной клетки; торакопластика; дети.

Как цитировать:

Долгиев Б.Х., Рыжиков Д.В., Виссарионов С.В. Хирургическое лечение детей с асимметричной воронкообразной деформацией грудной клетки (обзор литературы) // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2022. Т. 10. № 4. С. 471–479. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS112043>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS112043>

Review

Surgical treatment of children with asymmetric pectus excavatum: Literature review

Bahauddin H. Dolgiev, Dmitriy V. Ryzhikov, Sergei V. Vissarionov

H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia

BACKGROUND: The surgical treatment of children with pectus excavatum is regarded as an urgent problem still demanding solution despite the multitudes of surgical correction methods available nowadays. The currently available well-known techniques cannot be considered perfect because they are not proper enough for solving all the tasks, not to mention the problem of asymmetric forms of pectus excavatum treatment.

AIM: To analyze publications containing information on the methods of surgical treatment used for children with pectus excavatum.

MATERIALS AND METHODS: The study presents the results of literature review on the methods of surgical correction of pectus excavatum. Information was retrieved in PubMed, Google Scholar, and eLibrary scientific databases using keywords. Consequently, 63 foreign and domestic scientific sources over the period from 1609 to 2022 were identified. Among them, 29 publications refer to the latest decade.

RESULTS: Given the variety of methods used for chest deformity correction, thoracoplasty by D. Nuss has become the "gold standard" for the treatment of pectus excavatum. However, according to the search results, it is impossible to name one universal method of surgical intervention that could solve all the urgent problems at present. Modern surgery methods used for pectus excavatum correction can be considered only as modifications of treatment methods having been used before.

CONCLUSIONS: The shortcomings of modern thoracoplasty determine the necessity to keep searching for new techniques and improve those available at present. Besides, the standard suitable for both surgeons and patients should be elaborated.

Keywords: asymmetric, pectus excavatum; thoracoplasty; children.

To cite this article:

Dolgiev BH, Ryzhikov DV, Vissarionov SV. Surgical treatment of children with asymmetric pectus excavatum: Literature review. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2022;10(4):471–479. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS112043>

ОБОСНОВАНИЕ

Воронкообразная деформация грудной клетки (ВДГК) (*pectus excavatum*, грудь сапожника) — это мальформация, проявляющаяся западением грудины и деформацией реберных хрящей. Впервые данное искривление грудной клетки описал в 1594 г. Bauhinus [1]. Эта аномалия может присутствовать при рождении или развиваться в пубертатном периоде. Около трети случаев фиксируют в младенчестве, а остальные выявляют в детском возрасте до полового созревания [2–4]. Во время подросткового спурта ВДГК становится более выраженной в одной трети случаев, в то время как у двух третей пациентов дальнейшего прогрессирования искривления грудной клетки не отмечается [5, 6].

Из общего числа деформаций грудной клетки ВДГК составляет более чем 90 %, а оставшиеся 8 % наблюдаются на килевидную деформацию («куриная грудь», «голубиная грудь», *pectus carinatum*) — от 3 : 1 до 13 : 1 соответственно [7–10]. Частота встречаемости воронкообразной деформации грудной клетки в популяции колеблется в диапазоне от 0,06 до 2,3 % [11, 12]. Согласно зарубежным источникам, распространенность патологии составляет от 0,2 до 1,3 %. У детей 1 пациент с ВДГК приходится на 400–1000 здоровых. ВДГК у мальчиков регистрируют в 3–5 раза чаще, чем у девочек [13–17]. Около 60 % пациентов имеют симметричную грудную клетку, а остальные 40 % — асимметричную [18]. По одним данным, ведущую роль в возникновении патологии играют генетические факторы. Доказательством служит наличие у пациентов сопутствующих пороков развития, а также существование подобных изменений у родственников [19]. Наследственный характер патологии подтверждается в 37–40 % случаев. Другие авторы прямой генетической связи не обнаружили [20–22]. Патогенез заболевания до конца не изучен [23].

Цель — проанализировать публикации, содержащие информацию о методиках хирургического лечения детей с воронкообразной деформацией грудной клетки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В статье представлены результаты поиска литературы, посвященной методам хирургической коррекции ВДГК. Поиск данных осуществляли в базах научной литературы PubMed, Google Scholar, eLibrary по ключевым словам «асимметричная, воронкообразная деформация грудной клетки», «торакопластика». Были выявлены 63 иностранных и отечественных источника за период с 1609 по 2022 г., из которых 29 за последние 10 лет. Критерии включения в исследование: информационные и методические материалы с наличием полнотекстовых источников, рандомизированные контролируемые и неконтролируемые исследования, систематические обзоры. Были исключены дублирующие

работы, содержащие аналогичную информацию, и в случае обнаружения подобных выбирали хронологически более поздний вариант.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Хирургические методики коррекции ВДГК, внедренные в большом количестве в начале XX в., были инициированы Meyer в 1911 г. [24]. В последующем различными авторами были реализованы новые, а также усовершенствованы старые методики хирургического лечения: Klapp в 1912 г., Zahradnicek в 1925 г., Sauerbruch в 1931 г., Oshner и DeBakey в 1939 г., Brodtkin в 1948 г. и Ravitch в 1949 г. [25–30].

Ravitch предложил метод хирургического вмешательства, включающий субхондральную резекцию реберных хрящей в зоне деформации и остеотомию грудины. Несмотря на внедрение новых оперативных методов коррекции деформации грудной клетки, вышеупомянутый способ являлся стандартом оперативного лечения ВДГК во всем мире [31].

Операция Г.А. Баирова, основанная на отсечении и низведении мечевидного отростка, поперечной стернотомии, а также субхондральной резекции реберных хрящей на вершине деформации с последующей тракцией мобилизованной грудины, оказалась неэффективной ввиду рецидива деформации в процессе роста и развития ребенка [32].

В списке неактуальных на сегодняшний день методов оперативной коррекции, ввиду их высокой травматичности и низкой эффективности, значатся хирургические техники, основанные на повороте грудины на 180° в переднезаднем направлении, основоположником которых стали Judet и Jung [33].

На сегодняшний день наиболее распространенной и эффективной с учетом модификаций является торакопластика по D. Nuss, которая стала «золотым стандартом» [34, 35]. Она основана на изменении формы эластичных реберных хрящей при ретростеральном проведении титановой пластины, что позволяет осуществлять практически полную моментальную коррекцию передней грудной стенки [36].

За последние годы методика D. Nuss претерпела множество изменений и модификаций [37–39]. Торакопластику выполняют из двух латеральных доступов. Смоделированную с учетом формы деформации грудной клетки дугообразно изогнутую пластину проводят через предварительно сформированный ретростеральный канал и поворачивают ее на 180° с последующей фиксацией концевых отделов к ребрам. Отсутствие визуального контроля при проведении пластины обуславливало высокий риск осложнений — повреждение сердца и перикарда, легких, крупных сосудов, диафрагмы, внутренних органов, а также сердечной аритмии, что подтверждается литературными данными [40–42]. Однако вероятность

осложнений при малоинвазивной торакопластике также зависит от оператора [43, 44]. При применении видеоасистированной торакокопии вероятность возникновения вышеперечисленных проблем уменьшается, особенно при тяжелых деформациях [45, 46].

В 2007 г. M.R. Harrison предложил альтернативный способ лечения ВДГК, основанный на силе магнитного поля. Два магнита, установленные хирургическим путем ретростернально и антестернально в ортезе, за счет создаваемой тяги магнитного поля позволяют смещать переднюю грудную стенку впереди и осуществлять коррекцию деформации. Этот метод в настоящее время находится на стадии клинического исследования с участием человека [47, 48].

При I степени ВДГК, как правило, не возникает кардиореспираторного синдрома, и поэтому на первый план выходят исключительно эстетические проблемы, а в тех случаях, когда нет показаний для торакопластики, могут быть применены методы хирургической косметической коррекции [49, 50]. Западение участка передней грудной стенки устраняют путем заполнения его силиконовым имплантатом, который устанавливают антестернально и субфасциально, зачастую с использованием умбиликального доступа для получения наиболее эстетичного результата [51, 52].

С течением времени стали очевидны недостатки оригинальной методики D. Nuss и ее модификаций: рецидив деформации грудной клетки, возможная гиперкоррекция искривления, наличие остаточной деформации передней грудной стенки, а также миграция пластины. При этом если к настоящему времени проблема рецидива деформации в значительной степени решена путем увеличения сроков фиксации имплантата, а риски миграции уменьшены за счет эволюции способов фиксации и конструкции, то два других вопроса до конца не решены.

Необходимо отметить, что, несмотря на эффективность лечения ВДГК методом D. Nuss при невысокой частоте осложнений и малоинвазивности, коррекция асимметричных ВДГК приводит к формированию остаточной асимметрии, нередко выраженной при ригидных деформациях. Подобная эстетическая проблема вызывает неудовлетворенность хирургов и пациентов результатами оперативного лечения и порождает необходимость дополнительной коррекции [53]. При недостижении удовлетворительной коррекции грубой асимметричной ВДГК предложена хирургическая тактика, включающая интраоперационный переход от изолированного малоинвазивного вмешательства к комбинации с элементами радикальной торакопластики [18].

Применение методики D. Nuss в ряде случаев приводит к формированию вторичной деформации передней грудной стенки [54]. Согласно данным автора методики, по результатам десятилетней работы отмечается 8 % неудовлетворительных результатов [32]. У ряда исследователей частота получения неудовлетворительных

результатов, при использовании метода D. Nuss, достигает 21 % [55].

С момента внедрения процедуры по Nuss было предложено множество модификаций коррекции грудной клетки с учетом морфологии патологического процесса для улучшения результатов и повышения безопасности, в том числе и доктором H. Park при асимметричных ВДГК. Ключевой принцип этого метода — асимметричная форма пластины, противоположная контурам деформации грудной клетки [56, 57]. Ретроспективный анализ данных продемонстрировал некоторые успехи этой методики при лечении асимметричной ВДГК, но все же все поставленные задачи решить не удалось, что и определило необходимость дальнейших исследований [56, 57]. В вышеупомянутом исследовании предложена новая методика, в которой особое внимание уделяется местам входа и выхода интродьюсера — с верхней асимметричной на нижнюю контралатеральную сторону, что обуславливает простоту операции и конечный эстетический результат. Этот несложный, но практичный метод позволяет одновременно оказывать давление на выступающий участок грудной клетки и поднимать вдавленную противоположную сторону, при этом пластину формируют после установки интродьюсера для увеличения точности [58].

Следует сказать о «сэндвич технике» хирургической коррекции деформации, также разработанной H. Park, которая подразумевает проведение минимум двух пластин: одной — ретростернально, а другой — антестернально (по Abromson) с целью обеспечения взаимной компрессии пластин с последующей фиксацией их между собой [59]. Несмотря на достоинства вышеуказанной методики, антестернальное проведение пластины через толщу мягких тканей увеличивает риск различных осложнений, не говоря уже о недостаточном давлении этой пластины на переднюю грудную стенку вследствие дефицита точек опоры при ригидной деформации. При асимметричной деформации и генетическом синдроме риск миграции пластины повышается в 4 и 3 раза соответственно, что определяет необходимость поиска более тщательной и стабильной фиксации [60]. С целью предотвращения большинства осложнений, в том числе и рецидива патологии, формирования остаточной или вторичной деформации, следует осуществлять поиск и разработку более приемлемых методов коррекции ВДГК при минимальной инвазивности [61–63].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лечение тяжелой степени ВДГК проводят путем хирургической реконструкции ретростернального пространства. Лидируют малоинвазивные методы, которые перспективны в плане модернизации и использования.

Несмотря на значительный прогресс и продолжающиеся исследования по описанной тематике, данное направление в настоящее время является важным и актуальным,

особенно в отношении ригидных асимметричных ВДГК. Не существует универсальной методики, удовлетворяющей хирургов и пациентов, а также лишенной недостатков, влияющих на конечный результат лечения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Работа не имела финансового обеспечения или спонсорской поддержки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bauhinus J.J. Observatorium medicarum, rararum, novarum, admirabilium, et montrosarum, liber secundus // De partibus vitalibus, thorace contentis. Frankfurt, 1609.
2. Coln E., Carrasco J., Coln D. Demonstrating relief of cardiac compression with the Nuss minimally invasive repair for pectus excavatum // J. Pediatr. Surg. 2006. Vol. 41. No. 4. P. 683–686. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2005.12.009
3. Koumbourlis A.C., Stolar C.J. Lung growth and function in children and adolescents with idiopathic pectus excavatum // Pediatr. Pulmonol. 2004. Vol. 38. No. 4. P. 339–343. DOI: 10.1002/ppul.20062
4. Kelly R.E.Jr., Cash T.F., Shamberger R.C., et al. Surgical repair of pectus excavatum markedly improves body image and perceived ability for physical activity: multicenter study // Pediatrics. 2008. Vol. 122. No. 6. P. 1218–1222. DOI: 10.1542/peds.2007-2723
5. Humphreys G.H., Jaretzki A. Pectus excavatum. Late results with and without operation // J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 1980. Vol. 80. No. 5. P. 686–695.
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. Vol. 39. No. 5. P. 683–688.
7. Абдрахманов А.Ж., Тажин К.Б., Анашев Т.С. Врожденные деформации грудной клетки и их лечение // Травматология жэне Ортопедия. 2010. № 1. С. 3–7.
8. Рудаков С.С. Метод комбинированного лечения воронкообразной деформации грудной клетки у детей с синдромом Марфана и марфаноподобным фенотипом. Москва, 1996.
9. Разумовский А.Ю., Алхасов А.Б., Разин М.П., и др. Сравнительная характеристика эффективности различных способов оперативного лечения воронкообразной деформации грудной клетки у детей: мультицентровое исследование // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2018. Т. 6. Вып. 1. С. 5–13. DOI: 10.17816/PTORS615-13
10. Комолкин И.А. Хирургическое лечение врожденных деформаций грудной клетки у детей: дис. ... д-ра мед. наук. Санкт-Петербург, 2019.
11. Вишневецкий А.А., Рудаков С.С., Миланов Н.О. Хирургия грудной стенки: руководство. Москва: Видар, 2005.
12. Horch R.E., Stoelben E., Carbon R., et al. Pectus excavatum breast and chest deformity: indications for aesthetic plastic surgery versus thoracic surgery in a multicenter experience // Aesthetic Plast. Surg. 2006. Vol. 30. No. 4. P. 403–411. DOI: 10.1007/s00266-004-0138-x
13. 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. No. 4. P. 497–502. DOI: 10.1093/icvts/ivz142
14. Kuru P., Cakiroglu A., Er A., et al. Pectus excavatum and pectus carinatum: associated conditions, family history, and postoperative patient satisfaction // Korean J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 2016. Vol. 49. No. 1. P. 29–34. DOI: 10.5090/kjtcs.2016.49.1.29
15. Апросимова С.И. Оптимизация хирургического лечения воронкообразной деформации грудной клетки у детей: автореф. ... дис. канд. мед. наук. Москва, 2020.
16. Хаспеков Д.В. Сравнительный анализ хирургических методов лечения воронкообразной деформации грудной клетки у детей и подростков: дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2021.
17. Okuyama H., Tsukada R., Tazuke Y., et al. Thoracoscopic costal cartilage excision combined with the nuss procedure for patients with asymmetrical pectus excavatum // J. Laparoendosc. Adv. Surg. Tech. A. 2021. Vol. 31. No. 1. P. 95–99. DOI: 10.1089/lap.2020.0312
18. Pawlak K., Gąsiorowski Ł., Dyszkiewicz W. Complex corrective procedure in surgical treatment of asymmetrical pectus excavatum // Kardiochir. Torakochirurgia Pol. 2017. Vol. 14. No. 2. P. 110–114. DOI: 10.5114/kitp.2017.68741
19. 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.
20. 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. No. 2. P. 230–239. DOI: 10.3122/jabfm.2010.02.090234
21. Malek M.H., Berger D.E., Housh T.J., et al. Cardiovascular function following surgical repair of pectus excavatum: a metaanalysis // Chest. 2006. Vol. 130. No. 2. P. 506–516. DOI: 10.1378/chest.130.2.506
22. Кузнечихин Е.П., Ульрих Э.В. Хирургическое лечение детей с заболеваниями и деформациями опорно-двигательной системы. Москва: Медицина, 2004.
23. Cohen P.R. Poland's syndrome: are postzygotic mutations in β -actin associated with its pathogenesis? // Am. J. Clin. Dermatol. 2018. Vol. 19. No. 1. P. 133–134. DOI: 10.1007/s40257-017-0330-9
24. Sauerbruch F. Operative beseitigung der angeborenen trichterbrust // Deutsche Zeitschrift f. Chirurgie. 1931. Vol. 234. P. 760–764. DOI: 10.1007/BF02797645
25. Meyer L. Zur chirurgischen behandlung der angeborenen trichterbrust // Berl. Klin. Wschr. 1911. Vol. 48. P. 1563–1566.

- 26.** Schulz-Drost S., Syed J., Lubner A.M., et al. From pullout-techniques to modular elastic stable chest repair: the evolution of an open technique in the correction of pectus excavatum // *J. Thorac. Dis.* 2019. Vol. 11. No. 7. P. 2846–2860. DOI: 10.21037/jtd.2019.07.01
- 27.** Курицын В.М., Шабанов А.М., Шехонин Б., и др. Патогистология реберного хряща и иммуноморфологическая характеристика коллагена при воронкообразной груди // *Архив патологии.* 1987. Вып. 49. №. 1. С. 20–26.
- 28.** Павлова В.Н., Копьева Т.Н., Слуцкий Л.И., и др. Хрящ. Москва, 1988.
- 29.** Полюдов С.А., Горицкая Т.А., Веровский В.А., и др. Воронкообразная деформация грудной клетки у детей // *Детская больница.* 2005. № 4. С. 34–39.
- 30.** Ravitch M.M. The operative treatment of pectus excavatum // *Ann. Surg.* 1949. Vol. 129. No. 4. P. 429–444. DOI: 10.1097/00000658-194904000-00002
- 31.** Ravitch M.M. Congenital deformities of the chest wall and their operative correction. Philadelphia: W.B. Saunders Company; 1977.
- 32.** Баиров Г.А. Операции при врожденной воронкообразной груди // *Оперативная хирургия детского возраста / под ред. Е.М. Марголина.* Ленинград, 1960. С. 139–142.
- 33.** Judet J., Judet R. Thorax en enionnoir: un procede operatoire // *Rev. Orihop.* 1954. Vol. 40. P. 248–257.
- 34.** Nuss D., Kelly R.E.Jr., Croitoru D.P., et al. A 10-year review of a minimally invasive technique for the correction of pectus excavatum // *J. Pediatr. Surg.* 1998. Vol. 33. No. 4. P. 545–552. DOI: 10.1016/s0022-3468(98)90314-1
- 35.** Yoshida K., Kashimura T., Kikuchi Y., et al. Successful management for repeated bar displacements after Nuss method by two bars connected by a stabilizer // *Ann. Thorac. Med.* 2019. Vol. 14. No. 3. P. 216–219. DOI: 10.4103/atm.ATM_84_19
- 36.** Nuss D. Recent experiences with minimally invasive pectus excavatum repair “Nuss procedure” // *Jpn. J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2005. Vol. 53. No. 7. P. 338–344. DOI: 10.1007/s11748-005-0047-1
- 37.** Nuss D., Croitoru D.P., Kelly R.E.Jr., et al. Review and discussion of the complications of minimally invasive pectus excavatum repair // *Eur. J. Pediatr. Surg.* 2002. Vol. 12. No. 4. P. 230–234. DOI: 10.1055/s-2002-34485
- 38.** Notrica D.M. Modifications to the Nuss procedure for pectus excavatum repair: a 20-year review // *Semin. Pediatr. Surg.* 2018. Vol. 27. No. 3. P. 133–150. DOI: 10.1053/j.sempedsurg.2018.05.004
- 39.** Lučenič M., Janík M., Juhos P., et al. Krátkodobé výsledky minimálne invazívnej korekcie pectus excavatum u dospelých pacientov // *Rozhl. Chir.* 2016. Vol. 95. No. 1. P. 25–32.
- 40.** Goretsky M.J., McGuire M.M. Complications associated with the minimally invasive repair of pectus excavatum // *Semin. Pediatr. Surg.* 2018. Vol. 27. No. 3. P. 151–155. DOI: 10.1053/j.sempedsurg.2018.05.001
- 41.** Hebra A., Kelly R.E., Ferro M.M., et al. Life-threatening complications and mortality of minimally invasive pectus surgery // *J. Pediatr. Surg.* 2018. Vol. 53. No. 4. P. 728–732. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2017.07.020
- 42.** Kelly R.E.Jr., Obermeyer R.J., Goretsky M.J., et al. Nuss d. recent modifications of the nuss procedure: the pursuit of safety during the minimally invasive repair of pectus excavatum // *Ann. Surg.* 2022. Vol. 275. No. 2. P. e496–e502. DOI: 10.1097/SLA.0000000000003877
- 43.** Haecker F.M., Bielek J., von Schweinitz D. Minimally invasive repair of pectus excavatum (MIRPE) – the Basel experience // *Swiss Surg.* 2003. Vol. 9. No. 6. P. 289–295. DOI: 10.1024/1023-9332.9.6.289
- 44.** Hebra A. Minor and major complications related to minimally invasive repair of pectus excavatum // *Eur. J. Pediatr. Surg.* 2018. Vol. 28. No. 4. P. 320–326. DOI: 10.1055/s-0038-1670690
- 45.** Стальмахович В.Н., Дюков А.А., Дмитриенко А.П., и др. Редкие осложнения после торакопластики у детей с врожденной воронкообразной деформацией грудной клетки // *Acta Biomedica Scientifica.* 2015. № 3. С. 18–20.
- 46.** Tetteh O., Rhee D.S., Boss E., et al. Minimally invasive repair of pectus excavatum: Analysis of the NSQIP database and the use of thoracoscopy // *J. Pediatr. Surg.* 2018. Vol. 53. No. 6. P. 1230–1233. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2018.02.089
- 47.** Graves C.E., Hirose S., Raff G.W., et al. Magnetic mini-mover procedure for pectus excavatum IV: FDA sponsored multicenter trial // *J. Pediatr. Surg.* 2017. Vol. 52. No. 6. P. 913–919. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2017.03.009
- 48.** Harrison M.R., Estefan-Ventura D., Fechter R., et al. Magnetic mini-mover procedure for pectus excavatum: I. Development, design, and simulations for feasibility and safety // *J. Pediatr. Surg.* 2007. Vol. 42. No. 1. P. 81–85. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2006.09.042
- 49.** Nordquist J., Svensson H., Johnsson M. Silastic implant for reconstruction of pectus excavatum: an update // *Scand. J. Plast. Reconstr. Surg. Hand. Surg.* 2001. Vol. 35. No. 1. P. 65–69. DOI: 10.1080/02844310151032619
- 50.** Snel B.J., Spronk C.A., Werker P.M., et al. Pectus excavatum reconstruction with silicone implants: long-term results and a review of the english-language literature // *Ann. Plast. Surg.* 2009. Vol. 62. No. 2. P. 205–209. DOI: 10.1097/SAP.0b013e31817d878c
- 51.** Hümmer H.P., Willital G.H. Klassifizierung und subklassifizierung der trichter- und kielbrust: classification and subclassification of funnel and pigeon chest // *Z. Orthop. Ihre. Grenzgeb.* 1983. Vol. 121. No. 2. P. 216–220. DOI: 10.1055/s-2008-1051344
- 52.** Länsman S., Serlo W., Linna O., et al. Treatment of pectus excavatum with bioabsorbable polylactide plates: preliminary results // *J. Pediatr. Surg.* 2002. Vol. 37. No. 9. P. 1281–1286. DOI: 10.1053/jpsu.2002.34983
- 53.** Крупко А.В., Богосьян А.Б. Применение операции Насса при различных типах воронкообразной деформации грудной клетки // *Фундаментальные исследования.* 2014. № 10. Ч. 2. С. 298–303.
- 54.** Tamai M., Nagasao T., Yanaga H., et al. Correction of secondary deformity after Nuss procedure for pectus excavatum by means of cultured autologous cartilage cell injection // *Int. J. Surg. Case Rep.* 2015. Vol. 15. No. 70–73. DOI: 10.1016/j.ijscr.2015.08.031
- 55.** Разумовский А.Ю., Павлов А.А. Хирургические методы лечения воронкообразной деформации грудной клетки // *Детская хирургия.* 2005. № 3. С. 44–47.
- 56.** Park H.J., Jeong J.Y., Jo W.M., et al. Minimally invasive repair of pectus excavatum: a novel morphology-tailored, patient-specific approach // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2010. Vol. 139. No. 2. P. 379–386. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2009.09.003
- 57.** Park H.J., Lee S.Y., Lee C.S., et al. The Nuss procedure for pectus excavatum: evolution of techniques and early results on

322 patients // *Ann. Thorac. Surg.* 2004. Vol. 77. No. 1. P. 289–295. DOI: 10.1016/s0003-4975(03)01330-4

58. Squillaro A.I., Melhado C., Ozgediz D., et al. Minimally invasive repair of asymmetric pectus excavatum: an alternative technique to treating asymmetric morphology // *J. Pediatr. Surg.* 2022. Vol. 57. No. 6. P. 1079–1082. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2022.01.035

59. Park H.J., Kim K.S. The sandwich technique for repair of pectus carinatum and excavatum/carinatum complex // *Ann. Cardiothorac. Surg.* 2016. Vol. 5. No. 5. P. 434–439. DOI: 10.21037/acs.2016.08.04

60. Разумовский А.Ю., Алхасов А.Б., Митупов З.Б., и др. Анализ периоперационных осложнений при коррекции ВДГК по модифицированной методике Насса // *Детская хирургия.* 2017. Вып. 21. № 5. С. 251–257. DOI: 10.18821/1560-9510-2017-21-5-251-257

61. Гацуцын В.В., Наливкин А.Е., Кузьмичёв В.А., и др. Обоснование дифференцированного подхода в диагностике и хирургической коррекции воронкообразной деформации грудной клетки у детей // *Детская хирургия.* 2018. Вып. 22. № 4. С. 199–204. DOI: 10.18821/1560-9510-2018-22-4-199-204

62. Ходжанов И.Ю., Хакимов Ш.К., Касымов Х.А., и др. Вопросы диагностики и лечения воронкообразной деформации грудной клетки у детей // *Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии.* 2015. № 1. С. 40–46.

63. Brian G.A., Millsbaugh D.L., Desai A.A., et al. Pectus excavatum: benefit of randomization // *J. Pediatric. Surg.* 2015. Vol. 50. No. 11. P. 1937–1939. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2015.05.009

REFERENCES

1. Bauhinus JJ. An observatory of rare, novel, wonderful, and monstrous medicines: the second book. *The vital parts, contained in the chest.* Frankfurt; 1609. (In Lat.)

2. Coln E, Carrasco J, Coln D. Demonstrating relief of cardiac compression with the Nuss minimally invasive repair for pectus excavatum. *J Pediatr Surg.* 2006;41(4):683–686. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2005.12.009

3. Koumbourlis AC, Stolar C.J. Lung growth and function in children and adolescents with idiopathic pectus excavatum. *Pediatr Pulmonol.* 2004;38(4):339–343. DOI: 10.1002/ppul.20062

4. Kelly RE Jr, Cash TF, Shamberger RC, et al. Surgical repair of pectus excavatum markedly improves body image and perceived ability for physical activity: multicenter study. *Pediatrics.* 2008;122(6):1218–1222. DOI: 10.1542/peds.2007-2723

5. Humphreys GH, Jaretzki A. Pectus excavatum. Late results with and without operation. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1980;80(5):686–695.

6. Lacquet LK, Morshuis WJ, Folgering HT. Long-term results after correction of anterior chest wall deformities. *J Cardiovasc Surg (Torino).* 1998;39(5):683–688.

7. Abdrakhmanov AZh, Tazhin KB, Anashev TS. Congenital chest deformations and its treatment. *Travmatologiya zhene Ortopediya.* 2010;(1):3–7 (In Russ.)

8. Rudakov SS. Metod kombinirovannogo lecheniya voronkoobraznoi deformatsii grudnoi kletki u detei s sindromom Marfana i marfanopodobnym fenotipom. Moscow; 1996. (In Russ.)

9. Razumovsky AYu, Alkhasov AB, Razin MP, et al. Comparative characteristics of the efficiency of different methods of operational treatment for pectus excavatum in children: a multicenter study. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery.* 2018;6(1):5–13. DOI: 10.17816/PTORS615-13

10. Komolkin IA. Khirurgicheskoe lechenie vrozhdennykh deformatsii grudnoi kletki u detei [abstract dissertation]. Saint Peterburg; 2019. (In Russ.)

11. Vishnevskii AA, Rudakov SS, Milanov NO. Khirurgiya grudnoi stenki: rukovodstvo. Moscow: Vidar; 2005. (In Russ.)

12. Horch RE, Stoelben E, Carbon R, et al. Pectus excavatum breast and chest deformity: indications for aesthetic plastic surgery versus thoracic surgery in a multicenter experience. *Aesthetic Plast Surg.* 2006;30(4):403–411. DOI: 10.1007/s00266-004-0138-x

13. 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

14. Kuru P, Cakiroglu A, Er A, et al. Pectus excavatum and pectus carinatum: associated conditions, family history, and postoperative patient satisfaction. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg.* 2016;49(1):29–34. DOI: 10.5090/kjtcs.2016.49.1.29

15. Aprosimova SI. Optimizatsiya khirurgicheskogo lecheniya voronkoobraznoi deformatsii grudnoi kletki u detei [abstract dissertation]. Moscow; 2020. (In Russ.)

16. Khaspekov DV. Sravnitel'nyi analiz khirurgicheskikh metodov lecheniya voronkoobraznoi deformatsii grudnoi kletki u detei i podrostkov [abstract dissertation]. Moscow; 2021. (In Russ.)

17. Okuyama H, Tsukada R, Tazuke Y, et al. Thoracoscopic costal cartilage excision combined with the nuss procedure for patients with asymmetrical pectus excavatum. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A.* 2021;31(1):95–99. DOI: 10.1089/lap.2020.0312

18. Pawlak K, Gąsiorowski Ł, Dyszkiewicz W. Complex corrective procedure in surgical treatment of asymmetrical pectus excavatum. *Kardiochir Torakochirurgia Pol.* 2017;14(2):110–114. (In Pol.). DOI: 10.5114/kitp.2017.68741

19. Komolkin IA, Afanas'yev AP, Shchegolev DV. The role of heredity in the occurrence of the chest congenital deformities (review of the literature). *Geniy ortopedii.* 2012;(2):152–156. (In Russ.)

20. 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

21. Malek MH, Berger DE, Housh TJ, et al. Cardiovascular function following surgical repair of pectus excavatum: a metaanalysis. *Chest.* 2006;130(2):506–516. DOI: 10.1378/chest.130.2.506

22. Kuznechikhin EP, Ul'rikh EV. Khirurgicheskoe lechenie detei s zabolovaniyami i deformatsiyami oporno-dvigatel'noi sistemy. Moscow: Meditsina; 2004. (In Russ.)

23. Cohen PR. Poland's syndrome: are postzygotic mutations in β -actin associated with its pathogenesis? *Am J Clin Dermatol.* 2018;19(1):133–134. DOI: 10.1007/s40257-017-0330-9

24. Sauerbruch F. Operative beseitigung der angeborenen trichterbrust. *Deutsche Zeitschrift F Chirurgie.* 1931;234:760–764. (In Deu.). DOI: 10.1007/BF02797645

25. Meyer L. Zurchirurgischen Behandlung der angeborenen Trichterbrust. *Berl Klin Wschr.* 1911;48:1563–1566. (In Deu.)
26. Schulz-Drost S, Syed J, Luber AM, et al. From pullout-techniques to modular elastic stable chest repair: the evolution of an open technique in the correction of pectus excavatum. *J Thorac Dis.* 2019;11(7):2846–2860. DOI: 10.21037/jtd.2019.07.01
27. Kuritsyn VM, Shabanov AM, Shekhonin B, et al. Patogistologiya rebernogo khryashcha i immunomorfologicheskaya kharakteristika kollagena pri voronkoobraznoi grudi. *Arkhiv patologii.* 1987;49(1):20–26. (In Russ.)
28. Pavlova VN, Kop'yeva TN, Slutskiy LI, et al. *Khryashch.* Moscow; 1988. (In Russ.)
29. Polyudov SA, Goritskaya TA, Verovskii VA, et al. Voronkoobraznaya deformatsiya grudnoi kletki u detei. *Detskaya bol'nitsa.* 2005;(4):34–39. (In Russ.)
30. Ravitch MM. The operative treatment of pectus excavatum. *Ann Surg.* 1949;129(4):429–44. DOI: 10.1097/00000658-194904000-00002
31. Ravitch MM. Congenital deformities of the chest wall and their operative correction. Philadelphia: W.B. Saunders Company; 1977.
32. Bairov GA. Operatsii pri vrozhdennoy voronkoobraznoy grudi. In: *Operativnaya khirurgiya detskogo vozrasta.* Ed. by Ye.M. Margorin. Leningrad; 1960. P. 139–142. (In Russ.)
33. Judet J, Judet R. Funnel chest: an operative procedure. *Rev Orihop.* 1954;40:248–257. (In Fr.)
34. Nuss D, Kelly RE Jr, Croitoru DP, et al. A 10-year review of a minimally invasive technique for the correction of pectus excavatum. *J Pediatr Surg.* 1998;33(4):545–552. DOI: 10.1016/s0022-3468(98)90314-1
35. Yoshida K, Kashimura T, Kikuchi Y, et al. Successful management for repeated bar displacements after Nuss method by two bars connected by a stabilizer. *Ann Thorac Med.* 2019;14(3):216–219. DOI: 10.4103/atm.ATM_84_19
36. Nuss D. Recent experiences with minimally invasive pectus excavatum repair “Nuss procedure”. *Jpn J Thorac Cardiovasc Surg.* 2005;53(7):338–344. DOI: 10.1007/s11748-005-0047-1
37. Nuss D, Croitoru DP, Kelly RE Jr, et al. Review and discussion of the complications of minimally invasive pectus excavatum repair. *Eur J Pediatr Surg.* 2002;12(4):230–234. DOI: 10.1055/s-2002-34485
38. Notrica DM. Modifications to the Nuss procedure for pectus excavatum repair: a 20-year review. *Semin Pediatr Surg.* 2018;27(3):133–150. DOI: 10.1053/j.sempedsurg.2018.05.004
39. Lučenič M, Janík M, Juhos P, et al. Short-term results of minimally invasive pectus excavatum repair in adult patients. *Rozhl Chir.* 2016;95(1):25–32. (In Czech.)
40. Goretsky MJ, McGuire MM. Complications associated with the minimally invasive repair of pectus excavatum. *Semin Pediatr Surg.* 2018;27(3):151–155. DOI: 10.1053/j.sempedsurg.2018.05.001
41. Hebra A, Kelly RE, Ferro MM, et al. Life-threatening complications and mortality of minimally invasive pectus surgery. *J Pediatr Surg.* 2018;53(4):728–732. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2017.07.020
42. Kelly RE Jr, Obermeyer RJ, Goretsky MJ, et al. Nuss d. recent modifications of the nuss procedure: the pursuit of safety during the minimally invasive repair of pectus excavatum. *Ann Surg.* 2022;275(2):e496–e502. DOI: 10.1097/SLA.0000000000003877
43. Haecker FM, Bielek J, von Schweinitz D. Minimally invasive repair of pectus excavatum (MIRPE) – the Basel experience. *Swiss Surg.* 2003;9(6):289–295. DOI: 10.1024/1023-9332.9.6.289
44. 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
45. Stalmakhovich VN, Dyukov AA, Dmitrienko AP, et al. Rare complications after thoracoplasty in children with congenital pectus excavatum. *Acta Biomedica Scientifica.* 2015;(3):18–20. (In Russ.)
46. Tetteh O, Rhee DS, Boss E, et al. Minimally invasive repair of pectus excavatum: analysis of the NSQIP database and the use of thoracoscopy. *J Pediatr Surg.* 2018;53(6):1230–1233. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2018.02.089
47. Graves CE, Hirose S, Raff GW, et al. Magnetic mini-mover procedure for pectus excavatum IV: FDA sponsored multicenter trial. *J Pediatr Surg.* 2017;52(6):913–919. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2017.03.009
48. Harrison MR, Estefan-Ventura D, Fechter R, et al. Magnetic mini-mover procedure for pectus excavatum: I. development, design, and simulations for feasibility and safety. *J Pediatr Surg.* 2007;42(1):81–85. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2006.09.042
49. Nordquist J, Svensson H, Johnsson M. Silastic implant for reconstruction of pectus excavatum: an update. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg.* 2001;35(1):65–69. DOI: 10.1080/02844310151032619
50. Snel BJ, Spronk CA, Werker PM, et al. Pectus excavatum reconstruction with silicone implants: long-term results and a review of the english-language literature. *Ann Plast Surg.* 2009;62(2):205–209. DOI: 10.1097/SAP.0b013e31817d878c
51. Hümmer HP, Willital GH. Classification and subclassification of funnel and pigeon chest. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 1983;121(2):216–220. (In Deu.). DOI: 10.1055/s-2008-1051344.
52. Länsman S, Serlo W, Linna O, et al. Treatment of pectus excavatum with bioabsorbable polylactide plates: preliminary results. *J. Pediatr. Surg.* 2002;37(9):1281–1286. DOI: 10.1053/jpsu.2002.34983
53. Krupko AV, Bogos'yan AB. Primenenie operatsii Nassa pri razlichnykh tipakh voronkoobraznoi deformatsii grudnoi kletki. *Fundamental'nye issledovaniya.* 2014;(10-2):298–303. (In Russ.)
54. Tamai M, Nagasao T, Yanaga H, et al. Correction of secondary deformity after Nuss procedure for pectus excavatum by means of cultured autologous cartilage cell injection. *Int J Surg Case Rep.* 2015;15:70–73. DOI: 10.1016/j.ijscr.2015.08.031
55. Razumovskiy AY., Pavlov AA. Khirurgicheskiye metody lecheniya voronkoobraznoy deformatsii grudnoy kletki. *Detskaya khirurgiya.* 2005;(3):44–47. (In Russ.)
56. Park HJ, Jeong JY, Jo WM, et al. Minimally invasive repair of pectus excavatum: a novel morphology-tailored, patient-specific approach. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2010;139(2):379–386. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2009.09.003
57. Park HJ, Lee SY, Lee CS, et al. The Nuss procedure for pectus excavatum: evolution of techniques and early results on 322 patients. *Ann Thorac Surg.* 2004;77(1):289–295. DOI: 10.1016/s0003-4975(03)01330-4
58. Squillaro AI, Melhado C, Ozgediz D, et al. Minimally invasive repair of asymmetric pectus excavatum: an alternative technique to treating asymmetric morphology. *J Pediatr Surg.* 2022;57(6):1079–1082. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2022.01.035

59. Park HJ, Kim KS. The sandwich technique for repair of pectus carinatum and excavatum/carinatum complex. *Ann Cardiothorac Surg.* 2016;5(5):434–439. DOI: 10.21037/acs.2016.08.04
60. Razumovsky AYu, Alkhasov AB, Mitupov ZB, et al. Analysis of perioperative complications of sunken chest correction by modified Nuss procedure. *Russian Journal of Pediatric Surgery.* 2017;21(5):251–257. (In Russ.). DOI: 10.18821/1560-9510-2017-21-5-251-257
61. Gatsutsyn VV, Nalivkin AE, Kuzmichev VA, et al. The substantiation of the differentiated approach in diagnostics and surgical correction of the funnel-shaped deformation of the chest in children. *Russian Journal of Pediatric Surgery.* 2018;22(4):199–204. (In Russ.). DOI: 10.18821/1560-9510-2018-22-4-199-204
62. Khodzhanov IYu, Khakimov ShK, Kasymov KhA, et al. Voprosy diagnostiki i lecheniya voronkoobraznoy deformatsii grudnoy kletki u detey. *Annaly plasticheskoy, rekonstruktivnoy i esteticheskoy khirurgii.* 2015;(1):40–46. (In Russ.)
63. Brian GA, Millsbaugh DL, Desai AA, et al. Pectus excavatum: benefit of randomization. *J Pediatric Surg.* 2015;50(11):1937–1939. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2015.05.009

ОБ АВТОРАХ

*** Багауддин Хавашевич Долгиев,**

врач — травматолог-ортопед;
адрес: Россия, 196603, Санкт-Петербург, Пушкин,
ул. Парковая, д. 64–68;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2184-5304>;
e-mail: dr-b@bk.ru

Дмитрий Владимирович Рыжиков, канд. мед. наук;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7824-7412>;
eLibrary SPIN: 7983-4270;
e-mail: dryjnikov@yahoo.com

Сергей Валентинович Виссарионов, д-р мед. наук,

профессор, чл.-корр. РАН;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>;
ResearcherID: P-8596-2015;
Scopus Author ID: 6504128319;
eLibrary SPIN: 7125-4930;
e-mail: vissarionovs@gmail.com

AUTHOR INFORMATION

*** Bahauddin H. Dolgiev,** MD,

Orthopedic and Trauma Surgeon;
address: 64–68 Parkovaya str., Pushkin, Saint Petersburg,
196603, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2184-5304>;
e-mail: dr-b@bk.ru

Dmitriy V. Ryzhikov, MD, PhD, Cand. Sci. (Med.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7824-7412>;
eLibrary SPIN: 7983-4270;
e-mail: dryjnikov@yahoo.com

Sergei V. Vissarionov, MD, PhD, Dr. Sci. (Med.),

Professor, Corresponding Member of RAS;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>;
ResearcherID: P-8596-2015;
Scopus Author ID: 6504128319;
eLibrary SPIN: 7125-4930;
e-mail: vissarionovs@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author