

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2018

УДК 616.721-007.24-053.1-07-089

Гацуцын В.В., Наливкин А.Е., Кузьмичёв В.А., Машков А.Е., Пыхтеев Д.А.**ОБОСНОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ПОДХОДА В ДИАГНОСТИКЕ И ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ВОРОНКООБРАЗНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ У ДЕТЕЙ**

Отделение детской хирургии ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт (МОНКИ) им. М.Ф. Владимирского, 129110, г. Москва

*Воронкообразная деформация грудной клетки – врождённая патология развития передней грудной стенки, проявляющаяся западением грудины и грудинорёберных хрящей в различных формах и степени. Существует множество вариантов коррекции данной деформации, которые можно условно разделить на открытые и малоинвазивные методы. В ведущих клиниках при данной патологии в последнее время наиболее часто применяется малоинвазивный метод коррекции по Нассу. К сожалению, на сегодняшний день не существует единого алгоритма предоперационного обследования больных с данной патологией, как и единого решения о выборе метода хирургической коррекции.***Ключевые слова:** воронкообразная деформация грудной клетки; малоинвазивная коррекция; западение грудины; деформация грудинорёберных хрящей; дети; детская хирургия; торакальная хирургия; торакоскопия; ЭхоКГ; грудинный элеватор Парка; мультиспиральная КТ.**Для цитирования:** Гацуцын В.В., Наливкин А.Е., Кузьмичёв В.А., Машков А.Е., Пыхтеев Д.А. обоснование дифференцированного подхода в диагностике и хирургической коррекции воронкообразной деформации грудной клетки у детей. *Детская хирургия*. 2018; 22(4): 199-204. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/1560-9510-2018-22-4-199-204>**Для корреспонденции:** Машков Александр Евгеньевич, доктор мед. наук, профессор, руководитель отделения детской хирургии МОНКИ им. М.Ф. Владимирского, 129110, Москва. E-mail: malaxe@yandex.ruGatsutsyn V.V., Nalivkin A.E., Kuzmichev V.A., Mashkov A.E., Pykhteev D.A.**THE SUBSTANTIATION OF THE DIFFERENTIATED APPROACH IN DIAGNOSTICS AND SURGICAL CORRECTION OF THE FUNNEL-SHAPED DEFORMATION OF THE CHEST IN CHILDREN**

M.F. Vladimirovsky Moscow Regional Research and Clinical Institute, Moscow, 129110, Russian Federation

*Funnel-shaped deformation of the chest (pectus excavatus) is a congenital pathology of the anterior thoracic wall, manifested by the retraction of the sternum and sternocostal cartilages in various forms and degrees. There are many options for correcting this deformation, which can be conditionally divided into open and minimally invasive methods. In the leading clinics for this pathology, there is recently used the most minimally invasive method of correction by Nass. Unfortunately, for today there is no the only as an algorithm for preoperative examination of patients with this pathology, as well as the decision on the choice of surgical correction method.***Keywords:** funnel-like deformation of the thorax; minimally invasive correction; sternum; deformation of the sternocostal cartilages; children; pediatric surgery; thoracic surgery; thoracoscopy; echocardiography; Park Technique; multispiral CT.**For citation:** Gatsutsyn V.V., Nalivkin A.E., Kuzmichev V.A., Mashkov A.E., Pykhteev D.A. The substantiation of the differentiated approach in diagnostics and surgical correction of the funnel-shaped deformation of the chest in children. *Detskaya Khirurgiya (Pediatric Surgery, Russian journal)* 2018; 22(4): 199-204. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/1560-9510-2018-22-4-199-204>**For correspondence:** Aleksandr E. Mashkov, MD, Ph.D., DSci., Professor, Head of the Department of Pediatric Surgery of the M.F. Vladimirovsky Moscow Regional Research and Clinical Institute, Moscow, 129110, Russian Federation. E-mail: malaxe@yandex.ru**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.**Acknowledgments.** The study had no sponsorship.

Received 22 January 2018

Accepted 02 April 2018

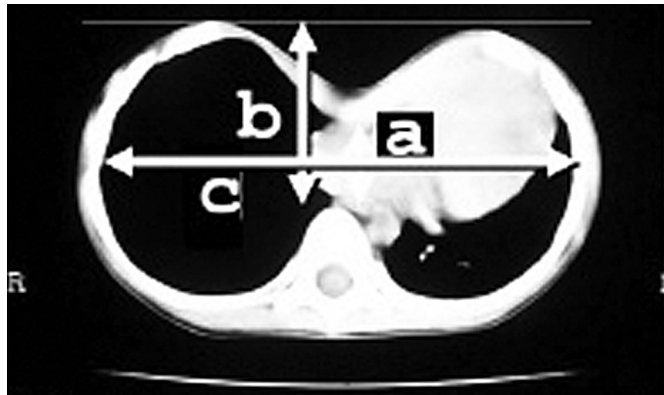
Воронкообразная деформация грудной клетки (ВДГК) – тяжёлый порок развития передней грудной стенки, представляющий собой западение грудины с вовлечением грудинорёберных хрящей и рёбер. ВДГК приводит к снижению объёма грудной клетки, смещению и сдавлению органов загрудинного пространства, выраженным функциональным изменениям со стороны сердца и лёгких и является заметным косметическим дефектом [1]. Частота встречаемости 1:5000 (от 0,04 до 2,3%) составляет 91% от всех врождённых деформаций грудины. По полу частота встречаемости 4:1 с преобладанием мальчиков [2, 3]. Общеизвестно считать ВДГК врождённым пороком, хотя в большинстве случаев манифестация заболевания при-

ходит к возрасту 10–12 лет, когда начинается активный рост ребенка [3, 4].

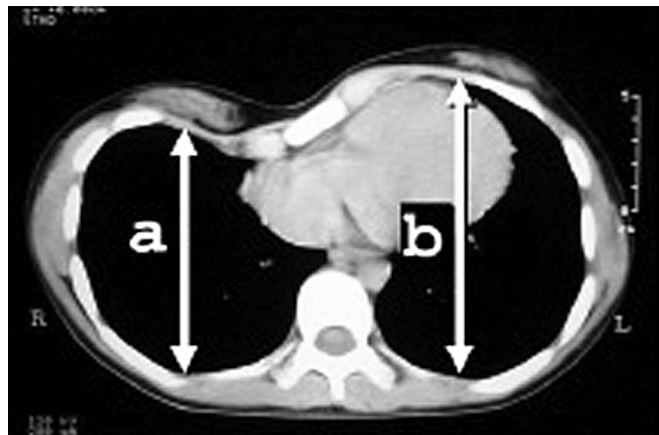
Этиология ВДГК на сегодняшний день остаётся не до конца изученной [5]. Большинство авторов в своих работах ссылаются на диспластический процесс как основную причину возникновения деформации, которая нередко носит наследственный характер [6–11]. По данным зарубежных авторов, количество пациентов с ВДГК, имеющих родственников с деформацией грудной клетки, приближается к 65% [12]. Принято считать, что причиной западения грудины является чрезмерный рост грудинорёберных хрящей, что приводит к «вворачиванию» грудины [13].

1. Depression Index (DI) = $\frac{a}{b}$

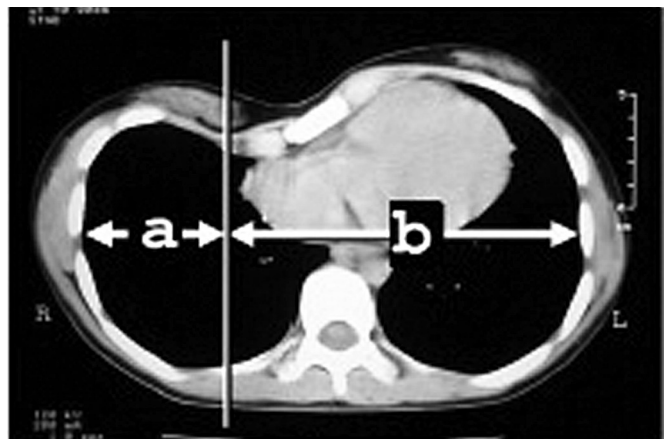
(CT Index (Haller Ix, HI)) = $\frac{c}{a}$



2. Asymmetry Index (AI) = $\frac{b}{a}$



3. Eccentricity Index (EI) = $\frac{b}{a}$



4. Unbalance Index (UI) = $\frac{\alpha}{\beta}$

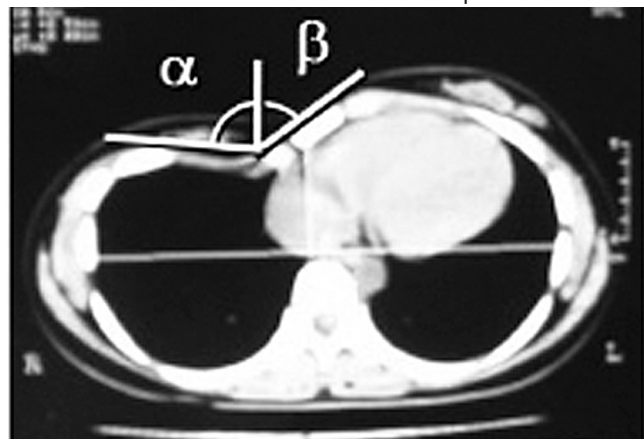


Рис. 1. Расчет индексов По Парку.

Рядом авторов описаны случаи у детей с воронкообразной грудной клеткой, которые склонны к частым трахеитам, хроническим бронхитам, пневмониям и прочим респираторным заболеваниям, в основе патогенеза которых лежит хроническая компрессия органов грудной клетки (ОГК) и непосредственно этиология ВДГК. Следствием этого является аномалия развития трахеобронхиального дерева [6, 14]. Со стороны сердца больные предъявляют жалобы на боли за грудиной при малых физических нагрузках, тахикардию, реже брадикардию или нарушение ритма, чувство сдавленности, дискомфорт [1, 15, 16]. По данным ЭхоКГ, у этих пациентов чаще встречаются малые аномалии развития: пролапс митрального клапана, открытое овальное окно, дополнительные хорды в камерах сердца. На рентгенограммах ОГК сердце в зависимости от степени втяжения грудины может смещаться левее нормально расположенной оси, реже занимать правостороннее положение, связанное с оттеснением и сдавливанием его грудиной [17, 18]. При II–IV степени патологии, когда помимо косметического дефекта наблюдается механическое сдавливающее воздействие грудины на сердце, снижается сердечный выброс вследствие уменьшения заполнения камер сердца, в результате происходит повышение систолического давления внутри лёгочной артерии, что в свою очередь приводит к лёгочной гипертензии, систолическому и диастолическому нарушению работы сердца.

На ЭКГ это может проявляться экстрасистолами, блокадой правой ножки пучка Гиса, аритмией [19–23]. Нередко ВДГК является частью одного из наследственных заболеваний, таких как синдромы Элерса–Данло, Марфана, Стиклера, Жена, нейрофиброматоз I типа, и может иметь сопутствующую патологию со стороны сердечно-сосудистой и лёгочной систем, что требует тщательного предоперационного обследования больных данной группы [24].

Для оценки степени деформации, выбора метода коррекции и объёма оперативного вмешательства следует провести ряд диагностических исследований. Большинство авторов высказывают мнение о необходимости МРТ с целью определения степени и формы деформации, анатомо-физиологических особенностей. Между тем роль и важность этого исследования данной группой авторов осталась недоказанной и необоснованной [4, 5, 15, 20–22, 24–27].

Н.Л. Парк и соавт. [28–30] (рис. 1) предложили с целью предоперационной диагностики и успешной хирургической коррекции ВДГК техническую компьютеризованную обработку 3D-снимков пациентов с деформацией грудины с расчетом индексов депрессии DI, асимметрии AI, эксцентричности EI и несбалансированности UI. В работе использовалась классификация ВДГК по Парку, которая наиболее полно отражает анатомические особен-

ности строения грудной клетки и форму при ВДГК, типы и степень деформации, степень асимметрии. Данная классификация пользуется успехом у ведущих специалистов по ВДГК, позволяет создать наиболее чёткую модель предстоящей операции и определить количество и положение корригирующих пластин для достижения наилучшего результата (рис. 2).

По мнению зарубежных авторов, показанием к оперативному вмешательству является наличие 2 и более нижеперечисленных критериев [6–8, 10]:

- наличие симптомов, жалоб (ощущение сердцебиения, быстрая утомляемость при физических нагрузках, одышка и пр.);
- прогрессирование деформации;

- индекс Галлера (ИГ) более 3,25 (рассчитывается по аксиальным сканам КТ на уровне максимального западения грудины, представляет собой частное между (а) поперечного размера грудной клетки (горизонтального расстояния между внутренней частью ребер) на (б) передне-задний размер (расстояние между передней поверхностью позвоночника и задней стенкой грудины) ($ИГ = a/b$) (рис. 3);

- компрессия сердца по данным ЭхоКГ сердца и мультиспиральной КТ (МСКТ);
- компрессия лёгких и бронхов по данным МСКТ;
- рестриктивные изменения по функциональным показателям лёгочной системы;
- пролапс митрального клапана, блокада ножки пучка Гиса и другая кардиальная патология, которая может быть обусловлена сдавлением грудиной;
- неудачные коррекции в прошлом;
- неудовлетворённость собственной грудной клеткой.

Консервативное лечение (ЛФК, массаж, кинезитерапия, мануальная терапия и др.) не приводит к коррекции грудной клетки за исключением метода коррекции «вакуумным колоколом», но в связи с ограниченными показаниями не может успешно применяться у всех пациентов с ВДГК. Единственным верным способом коррекции ВДГК является хирургический [1–3, 13, 31–38]. На сегодняшний день существует более 100 разновидностей оперативного лечения ВДГК. «Золотым стандартом» в хирургическом лечении ВДГК с 1949 по 2000-е годы была техника открытой стернохондропластики по Ravitch. В основе техники лежала резекция деформированных рёберных хрящей от рёберной дуги до третьих (реже вторых) рёбер включительно путём открытого доступа. Операция была длительной, крайне травматичной, сопровождалась обширной кровопотерей, давала ряд осложнений при отсутствии косметического эффекта [21, 33–35, 39]. В 1955 г. Rehbein первый предложил открытую торакопластику с использованием внутренних фиксаторов, но данный метод коррекции не нашёл общего признания.

Необходимо отдельно выделить группу открытых методов коррекции воронкообразной грудной клетки, основанных на развороте грудины. Принцип этой методики заключался в полной мобилизации грудины, стернотомии, пересечении грудинорёберных хрящей и полном развороте

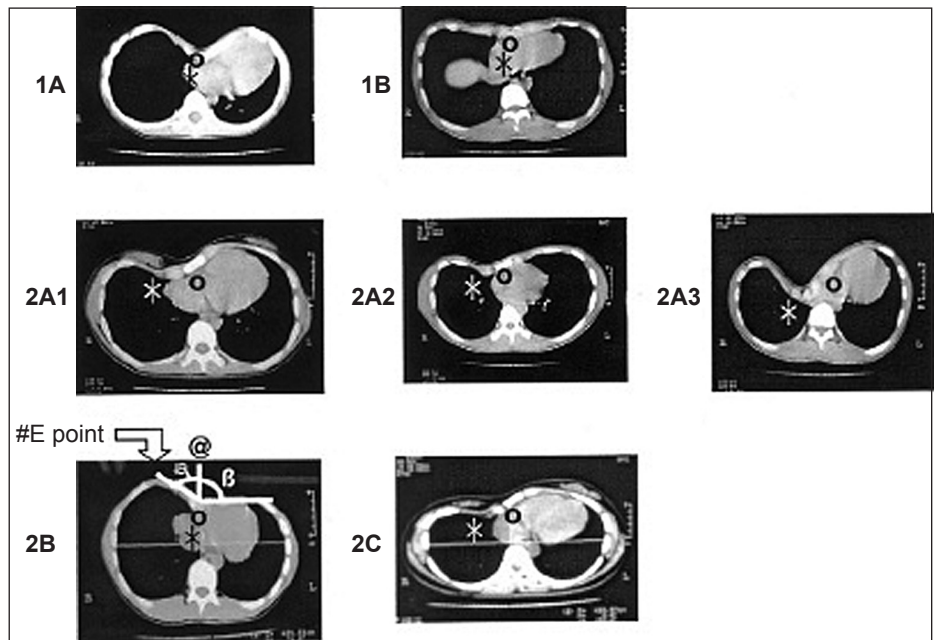


Рис. 2. Классификация ВДГК по Парку

те грудины на 180° [36]. Несмотря на множество модификаций, в связи с травматичностью и неудовлетворительным косметическим результатом торакопластики с разворотом грудины так и не получили широкого применения и на сегодняшний день признаны несостоятельными.

В нынешнее время наряду с хирургическим методом коррекции ВДГК применяются методы неинвазивного лечения. Самый распространённый из них – метод лечения «вакуумным колоколом», разработанный в Германии немецким инженером Klobe в 2006 г. Под аппаратом создаётся отрицательное давление от 1 до 3 атмосфер. Устройство необходимо носить в течение суток и снимать перед принятием водных процедур. Длительность лечения «вакуумным колоколом» составляет от нескольких месяцев до 2–3 лет. В связи с крайне ограниченными показаниями данный метод применяется, но не является основополагающим в лечении ВДГК. Использование приспособления интраоперационно с целью элевации грудины и безопасного загрузинного проведения интродьюсера не нашло широкого применения [37, 38].

Известен опыт косметического лечения ВДГК полимерными эндопротезами, такими как Porex. Эндопротез



Рис. 3. Расчет Индекса Галлера $ИГ = A/B$.

вводился подкожно в проекции пика западения и заполнял стяжение до получения удовлетворительного косметического результата. Отрицательной стороной данного метода являлось отсутствие коррекции со стороны сердечно-лёгочной системы, а визуальная коррекция приносила только эстетическое удовлетворение [40–42].

В конце XX века произошёл переворот в принципах лечения ВДГК. Началась эпоха эндохирургии. В 1998 г. D. Nuss и соавт. [43] опубликовали результаты 10-летнего опыта лечения ВДГК по собственной малоинвазивной методике торакопластики. К 2003 г. этот метод стал методом выбора в ведущих клиниках, занимающихся патологией передней грудной стенки. С момента публикации до нынешнего времени метод Насса претерпел множество модификаций и усовершенствований, но суть операции, заключающаяся в малоинвазивности, осталась неизменной, и метод остаётся «золотым стандартом» в лечении ВДГК. В основе метода лежит малотравматичное загрудинное проведение корригирующей пластины через 2 мини-доступа, что позволяет достичь интраоперационно удовлетворительного косметического результата. Продолжительность операции составляет 60 ± 15 мин, отсутствие поднадхрящичной резекции, травмирующей отсепаровки мышц передней грудной стенки, грубых и уродующих послеоперационных рубцов позволяет избежать возможных интра- и послеоперационных осложнений. Малая травматичность операции дала возможность сократить продолжительность госпитализации в 1,5 раза [32, 44, 45].

В оригинальном исполнении торакопластика выполнялась через 2 минимальных кожных разреза, с помощью интродьюсера формировался загрудинно тоннель, через который вслепую проводилась изогнутая С-образно пластина, выполнялась ротация пластины с последующей её фиксацией к рёбрам. Слепое проведение пластины в загрудинном отделе являлось потенциально опасным промежутком операции. Нередко на этапах освоения техники операции имели место случаи ятрогенной травматизации сердца и перикарда, повреждения добавочных внутриплевральных или атипично расположенных сосудов, травмы легкого, в связи с этим торакопластика была дополнена интраоперационной торакоскопией, что позволяло лучше визуализировать переднее средостение, гарантировало безопасное проведение интродьюсера в загрудинном пространстве [14, 28, 32, 46–48]. Особую сложность и максимальный риск ятрогении представляли деформации ПА1, ПА3 и ПВ по классификации Парка.

Использование различной оптики, одно- и двусторонней торакоскопии описано как у зарубежных авторов, так и в отечественной литературе. Проведя анализ работ, мы не нашли статей, в которых бы доказывалась целесообразность использования торакоскопии как константы для проведения безопасной малоинвазивной торакопластики по Нассу [14, 47, 48].

Пионером в области малоинвазивной коррекции ВДГК у детей является корейский хирург Н.К. Park, который на данный момент имеет самый большой в мире опыт подобных операций. С самого начала технология Парка существенно отличалась от того, что принято считать классической операцией Насса. Принципиальным отличием является то, что корригирующая пластина входит в плевральную полость не медиально от максимального уровня изгиба ребра, а латерально. Данная ситуация, с одной стороны, вызывает проблемы фиксации пластины и повышает риск прорезывания межреберья, но, с другой стороны,

снижает вероятность вторичных деформаций. В связи с этим автором было предложено множество модификаций фиксации корригирующей пластины и предотвращения её прорезывания. В настоящее время эта технология дополнена пластиной, укрепляющей точку вхождения пластины в плевральную полость (hinge plate). Другим усовершенствованием являются дополнительные когтевидные фиксаторы (claw fixator), а также система фиксации по типу «моста», или bridge plate, которая предотвращает смещение пластин. Надо отметить, что подобное обилие металлоконструкций не признаётся всеми как положительная сторона данной технологии, а широкое использование bridge fixator у детей, по данным большинства хирургов, приводит к рестриктивным изменениям грудной клетки, физической скованности и нарушает «подвижность» грудной клетки в течение длительного времени. По мнению Park, показанием к операции являются достаточный ранний возраст (от 3 лет). Подобный подход в коррекции ВДГК признаётся далеко не всеми хирургами, так как отдалённые результаты не всегда удовлетворительны, и нет понимания относительно дальнейшего развития грудной клетки [28–30]. В 2010 г. опубликована первая статья Н.К. Park, в которой описан метод использования грудинного элеватора, или подъёмника Парка. Автор описывает успешное применение наружного аппарата для элевации грудины с целью обеспечения лучшей визуализации переднего средостения. Полная визуализация органов загрудинного пространства позволила приблизить вероятность нанесения ятрогенной травмы к нулю. Метод обеспечивает лёгкое и беспрепятственное проведение проводника через межплевральную перегородку, уменьшает давление интродьюсера на межреберье, что препятствует разрыву межрёберного пространства. Применение подъёмника помимо повышения безопасности проводимой операции позволило сократить время операции примерно на 10 мин [28–30, 49, 50].

Существенным новаторством в технологии малоинвазивной коррекции является техника датского хирурга Н.К. Pilegaard [51, 52]. Данная техника признана лидирующей в Европе. Автор заметно упростил систему коррекции, используя укороченную корригирующую пластину и располагая стабилизатор не по боковой поверхности грудной клетки, а максимально медиально к месту вхождения пластины в плевральную полость. Подобное расположение стабилизатора препятствует латеральным движениям пластины и предохраняет её от смещения. Недостатком техники Pilegaard является то, что в ряде случаев разрез располагается слишком кпереди, что снижает косметический результат операции, а преимуществом данного метода является быстрота выполнения, малая травматичность.

В 2016 г. рядом авторов одной из ведущих клиник хирургического лечения детей, в частности ВДГК, были опубликованы результаты 15-летнего опыта малоинвазивной коррекции ВДГК, разработанной и внедрённой в этой клинике. В основе метода лежала модернизированная методика Насса. Отличие заключалось в проведении корригирующей пластины слева направо, строго в одном межреберье. Формирование загрудинного тоннеля осуществлялось бимануально без использования торакоскопии. Применялась одна Т-образная короткая пластина, созданная в данной клинике [31, 32].

В марте того же года в руководстве по кардиоторакальной хирургии рядом авторов в Испании была опубликована статья, посвящённая новому методу коррекции воронкообразной деформации. Данный вид коррекции получил название «таулинопластика» в честь

названия университетской клиники, где была впервые выполнена эта операция. Суть метода заключается в подожном введении корригирующей широкой пластины с опорами по краям на рёбра через поперечный разрез кожи в проекции пика деформации, которая притягивает к себе пик деформации грудины при помощи вкрученного тракционного шурупа в центре грудины и фиксирует её в 5 местах блокирующими винтами. По данным авторов, успех был достигнут у всех 23 прооперированных пациентов в возрасте от 5 до 24 лет. Преимуществом этого метода является его применение у пациентов, ранее перенесших кардиохирургические вмешательства, а также при рецидивах после открытых коррекций ВДГК. Данный метод имеет право на существование, но малый опыт и ограниченное территориальное проведение коррекции не позволяют ему конкурировать с ведущими видами коррекции ВДГК [53]. Вместе с тем остается неясным применение данной техники у пациентов с ротирующей грудью, а также у пациентов с протяжённой деформацией, хотя имеются данные (из устного общения с разработчиками) об успешном применении двух пластин на разных уровнях. Однако это безусловно ухудшает косметический результат, так как подразумевает два фронтально расположенных разреза.

С момента появления операция Насса претерпела всевозможные изменения, модификации, усовершенствования. Это связано с неудовлетворённостью результатами, стремлением снизить травматичность и возможные интра- и послеоперационные риски, увеличить малую инвазию, сократить время операции и достичь наилучшего косметического результата. К одному из таких усовершенствованных методов можно отнести использование корригирующих пластин с «эффектом памяти» из никелида титана. Оригинальность метода заключается в использовании пластины, которой в охлаждённом состоянии можно придать нужную форму. После установки в загрудинное пространство пластина принимает ранее заданную форму, нагреваясь под воздействием температуры тела пациента [54]. Однако в последующем эффективность данного метода не подтвердилась, поскольку давление, оказываемое грудью на пластину, превышало возможно допустимое, что приводило к появлению остаточной деформации и неудовлетворительному результату. В последующем данная пластина использовалась в сочетании с резекцией хрящей.

Заключение

Проанализировав литературные источники, данные ведущих клиник в области малоинвазивной коррекции ВДГК, можно констатировать отсутствие принципов безопасной коррекции ВДГК, алгоритма обследования и определения дальнейшей тактики ведения пациентов с данной патологией. Объективно отмечено отсутствие достаточного предоперационного обследования с использованием передовых компьютерных технологий. Не отведена достаточная роль принципам безопасности при проведении коррекции – использованию грудинного элеватора, необходимости двусторонней торакоскопии. Не доказана эффективность нестандартной установки корригирующей пластины и установки двух и более пластин с целью достижения наилучшего результата, что в комплексе снижает возможные интраоперационные и послеоперационные риски и помогает получить наилучший как косметический, так и медицинский результат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

ЛИТЕРАТУРА

(пп. 6–10, 13, 15, 18–22, 24–30, 33–49, 51–53 см. в REFERENCES)

1. Виноградов А.В. Стернохондродистракция – новый метод лечения воронкообразных деформаций грудной клетки у детей. *Детская хирургия*. 2003; 2: 21–3. (In Russian)
2. Ашкрафт К.Ч., Холдер. *Детская хирургия*. 1006;1. СПб.: Харфорд.
3. Баиров Г.А. Фокин А.А. Воронкообразная деформация грудной клетки у детей. *Педиатрия*. 1983; 8:67–71.
4. Гафаров Х.З., Плаксейчук Ю.А., Плаксейчук А.Ю. *Лечение врожденных деформаций грудной клетки*. Казань: 1996; ФЭН.
5. Васильев Г.С., Полудов С.А., Горицкая Т.А. Дифференцированный подход к методу стабилизации грудины при хирургическом лечении воронкообразной деформации грудной клетки у детей. *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*. 1991;12: 39–42.
11. Тимошенко В.А. *Металлостернохондропластика при врожденных и приобретенных деформациях грудной клетки у детей: Методические рекомендации*. М.: 1998.
12. Козлова С.М. Семанова Е., Демикова Е.С., Блинникова О.Е. *Наследственные синдромы и медико-генетическое консультирование: Справочник*. М: Медицина; 1987.
14. Кузьмичев В.А., Пыхтеев Д.А., Наливкин А.Е., Машков А.Е., Гацуцын В.В. Лечение деформации грудной клетки в сочетании с эмфиземой легких. *Детская хирургия*. 2017; 21: 6; 328–332.
16. Киргизов И.В., Плякин В.А., Злотников Е.Н. Взаимосвязь степени воронкообразной деформации грудной клетки и дисплазии соединительной ткани. *Медицинский вестник Северного Кавказа*. 2009; 1: 70–1.
17. Урмонас. В.К. Этиология и патогенез воронкообразной деформации грудной клетки. *Педиатрия*. 1982;7: 63–6.
23. Рудаков С.С. *Метод комбинированного лечения воронкообразной деформации грудной клетки у детей с синдромом Марфана и марфаноподобным фенотипом. Пособие для врачей*. М.: 1996.
31. Разумовский А.Ю., Павлов А.А. Хирургические методы лечения воронкообразной деформации грудной клетки. *Детская хирургия*. 2005; 93: 44–7.
32. Разумовский А.Ю., Алхасов А.Б., Митупов З.Б., Даллакян Д.Н., Савельева М.С. 15-летний опыт лечения воронкообразной деформации грудной клетки у детей. *Детская хирургия*. 2016; 20: 6; 284–7.
52. Гаврюшин С.С., Кузьмичев В.А., Грибов Д.А. Биомеханическое моделирование хирургического лечения воронкообразной деформации грудной клетки. *Российский журнал биомеханики*. 2014; 18: 1; 36–47.
56. Королев П.А., Кожевников О.В., Рудаков С.С., Колеров М.Ю., Лысков В.А. Результаты радикальной торакопластики из малых доступов с фиксацией грудно реберного комплекса пластиной из металла с эффектом памяти формы при воронкообразной деформации грудной клетки. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2015; 4: 5–9.

REFERENCES

1. Vinogradov A.V. Sternochondrodistractio - New method of treatment pectus excavatum in children. *Detskaya khirurgiya*. 2003; 2: 21–3. (In Russian)
2. Ashkraft K.Ch., Holder. M. *Children's surgery* [Detskaya khirurgiya]. 1996;1. St. Petersburg: Harford.
3. Bairov G.A. Fokin A.A. Pectus excavatum in children. *Pediatrics*. 1983; 8: 67–71. (In Russian)
4. Gafarov Kh.Z., Plaseychuk Yu.A., Plakseychuk A.Yu. *Treatment of congenital deformities of the chest* [Lechenie vrozhdennykh deformatsiy grudnoy kletki]. Kazan: 1996; FEN. (In Russian)
5. Vasiliev GS, Polyudov SA, Goritskaya T.A. A differentiated approach to the method of stabilizing the sternum in the surgical treatment of pectus excavatum in children. *Grydnaya I serdechno-sosudistaya khirurgiya*. 1991;12: 39–42. (In Russian)
6. Croitoru DP, Kelly RE Jr, Goretsky MJ, Lawson ML, Swoveland B, Nuss D. Experience and modification update for the minimally invasive Nuss technique for pectus excavatum repair in 303 patients. *J. Pediatr. Surg.* 2000;37(3):437–45.
7. Nuss D, Kelly R., Goretsky M., Swoveland Barbara, Croitoru D., A review of the minimally invasive pectus excavatum repair. *Abstracts of Fours European Congress of Paediatric Surgery*. Budapest, Hungary. 2001: 41–2.

8. Nuss D, Croitoru DP, Kelly RE Jr, Goretsky MJ, Nuss KJ, Gustin TS. Review and discussion of the complications of minimally invasive pectus excavatum repair. *Eur. J. Pediatr. Surg.* 2002 ;12(4):230-4.
9. Redlinger Jr RE, Wootton A, Kelly RE, Nuss D, Goretsky M, Kuhn MA, Obermeyer RJ. Optoelectronic plethysmography demonstrates abrogation of regional chest wall motion dysfunction in patients with pectus excavatum after Nuss repair. *J. Pediatr. Surg.* 2012;47:160-4.
10. Shah B, Cohee A, Deyerle A, Kelly CS, Frantz F, Kelly RE, et al. High rates of metal allergy amongst Nuss procedure patients dictate broader pre-operative testing. *J. Pediatr. Surg.* 2014;49(3):451-4.
11. Timoshchenko V.A. *Metallosteronchondroplasty with congenital and acquired deformities of the chest in children: Methodological recommendations. [Metallosteronkhondroplastika pri vrozhdennykh deformatsiy grudnoy kletki u detey. Metodicheskie rekomendatsii]*. Moscow: 1998. (In Russian)
12. Kozlova S.M. Semanova E., Demikova ES, Blinnikova O.E. *Hereditary syndromes and medical genetic counseling: Handbook. - JL: Medicine.* 1987.
13. Sadler T.W. Embryology of the sternum. *Chest. Surg. Clin. N. Amer.* 2000; 10(2):237-44.
14. Kuzmichev VA, Pykhteev DA, Nalivkin AE, Mashkov AE, Gatsutsyn VV Treatment of chest deformity in combination with pulmonary emphysema. *Detskaya khirurgiya.* 2017; 21(6): 328-32. (In Russian)
15. Renker M., Schoepf J., Steinberg H., Baumann S. et al Comparison of Diagnostic Value of a Novel Noninvasive Coronary Computed Tomography Angiography Method Versus Standard Coronary Angiography for Assessing Fractional Flow Reserve. *The American J. of Cardio.* 2014; 114(9): 1303-8.
16. Kirgizov IV, Plyakin VA, Zlotnikov Ye.N. Interrelation of the degree of pectus excavatum and connective tissue dysplasia. *Meditsinskiy vestnik severnogo Kavkaza.* 2009;1: 70-1. (In Russian)
17. Urmonas. VC. Etiology and pathogenesis of pectus excavatum: *Pediatrica.* 1982; 7: 63-6. (In Russian)
18. Borowitz D, Cerny F, Zallen G, Sharp J, Burke M, Gross K, Glick PL. Pulmonary function and exercise response in patients with pectus excavatum after Nuss repair. *J. Pediatr. Surg.* 2003;38(4):544-7.
19. Kowalewski J, Brocki M, Dryjanski T, et al. Pectus excavatum: increase of right ventricular systolic, diastolic, and stroke volumes after surgical repair. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1999; 118:87-92.
20. Haller J.A. Jr, Loughlin GM. Cardiopulmonary function is significantly improved following corrective surgery for severe pectus excavatum. Proposed treatment guidelines. *J. Cardiovasc. Surg (Torino)* 2000 ; 41(1):125-30.
21. Malek MH, Fonkalsrud EW, Cooper CB. Ventilatory and cardiovascular responses to exercise in patients with pectus excavatum. *Chest.* 2003 ; 124(3):870-82.
22. Quigley PM, Haller JA Jr, Jelus KL, et al. Cardiopulmonary function before and after corrective surgery in pectus excavatum. *J. Pediatr.* 1996; 128:638-43.
23. Rudakov S.S. *The method of combined treatment of pectus excavatum in children with Marfan syndrome and a marfan-like phenotype. A manual for doctors [Metod kombinirovannogo lecheniya voronkobraznoy deformatsii grudnoy kletki u detey s sindromom Marfana I marfanopodobnym fenotipom. Posobie dlya vrachej]*. Moscow: 1996. (In Russian)
24. Haller J.A. Jr, Kramer SS, Lietman SA. Use of CT scans in selection of patients for pectus excavatum surgery: a preliminary report. *J. Pediatr. Surg.* 1987; 22:904-6.
25. Haller J.A. Jr. History of the operative management of pectus deformities. *Chest Surg. Clin. N Am.* 2000;10(2):227-35.
26. Haller J.A. Jr. Complication of surgery for pectus excavatum. *Chest Surg. Clin. N Am.* 2000; 10(2):415-26
27. Albes JM, Seemann MD, Heinemann MK, Ziemer G. Correction of anterior thoracic wall deformities: improved planning by means of 3D-spiral-computed tomography. *Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2001;49(1):41-4.
28. Park H.J., Lee S.Y., Lee C.S., Youm W., Lee K.R. The Nuss Procedure for Pectus Excavatum: Evolution of Techniques and Early Results on 322 Patients A. *Thorac. Surg.* 2004;77:289-95.
29. Park H.J., Jeong J.Y., MD, Jo W.M., Shin J.S., Lee I.S. Minimally invasive repair of pectus excavatum: A novel morphology-tailored, patient-specific approach. *J. Thorac. and Cardiovasc. Surg.* 2010; 2:
30. Park H.J., Sung S.W., Park J.K., Kim J.J., Jeon H.W., Wang Y.P. How early can we repair pectus excavatum: the earlier the better? *Eur. J. Cardiothorac Surg.* 2012;42:667-72.
31. Razumovsky A.Yu., Pavlov AA Surgical methods of treatment of pectus excavatum. *Detskaya khirurgiya.* 2005; 93: 44-7. (In Russian)
32. Razumovsky A.Yu., Alkhasov AB, Mitupov ZB, Dallakyan DN, Savelieva M.S. 15-year experience of treatment of pectus excavatum in children. *Detskaya khirurgiya.* 2016; 20: 6; 284-7. (In Russian)
33. Fonkalsrud EW, Dunn GC, Atkinson GB/ Repair of pectus excavatum deformities: 30 years of experience with 375 patients. *Ann. Surg.* 2000 ; 231(3): 443-8.
34. Fonkalsrud EW, Beanes S, Hebra A, Adamson W, Tagge E. Comparison of minimally invasive and modified Ravitch pectus excavatum repair. *J. Pediatr. Surg.* 2002 ;37(3):413-7.
35. Fonkalsrud EW. Current management of pectus excavatum. *World J. Surg.* 2003;27(5):502-8. Epub 2003 Apr.
36. Wada J, Ade WR. Turnover procedure. *Chest Surg. Clin. N Am.* 2000 ; 10(2):317-28.
37. 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):934-6.
38. Haecker FM., Sesia SB. Vacuum bell therapy. *Ann. Cardiothorac. Surg.* 2016 ; 5(5): 440-9.
39. Ravitch M.M. *Conjenital Deformities of the Chest Wall and Their Operative Correction*. Philadelphia: 1977.
40. Horch RE, Springer O. Minimally-invasive endoscopic correction of funnel chest deformity via an umbilical incision. *Aesthetic. Plast. Surg.* 2002; 26(4):295-8.
41. Lansman S, Serlo W, Linna O, Pohjonen T, Tormala P, Wans T, Ashammakhi N. Treatment of pectus excavatum with bioabsorbable polylactide plates: Preliminary results. : *J. Pediatr. Surg.* 2002;37(9):1281-6.
42. Chavoyn JP, Dahan M, Grolleau JL, Soubirac L, Wagner A, Foucras L, Darbas D, Pomar P. Pectus excavatum: filling technique with deep custom made implant. *Ann. Chir. Plast. Esthet.* 2003;48(2):67-76.
43. Nuss D., Kelly R., Croitoru D.P., Katz M.E. A 10-year review of a minimally invasive technique for the correction of pectus excavatum. *J. of Pediatr. Surg.* – 1998;33(4):545-52.
44. Joppich I, Lehner M, Dietz HG. Minimally invasive pectus excavatum correction: initial experiences and critical evaluation of this fascinating technique. *Wien Med. Wochenschr.* 2003;153(1-2):34-6.
45. Sacco-Casamassima MG, Goldstein SD, Gause CD, et al. Minimally invasive repair of pectus excavatum: analyzing contemporary practice in 50 ACS NSQIP-pediatric institutions. *Pediatr. Surg. Int.* 2015;31:493-9. 10.1007/s00383-015-3694-z
46. Kobayashi S, Yoza S, Komuro Y, Sakai Y, Ohmori K. Correction of pectus excavatum and pectus carinatum assisted by the endoscope. *Plast. Reconstr. Surg.* 1997;99(4): 1037-45.
47. Schaarschmidt K, Kolberg-Schwerdt A, Dimitrov G, Straubeta J. Submuscular bar, multiple pericostal bar fixation, bilateral thoracoscopy: A modified Nuss repair in adolescents. *J. Pediatr. Surg.* 2002;37(9):1276-80.
48. Santana Rodriguez N, Hernandez Rodriguez H, Gamez Garcia P, Madrigal Royo L, Cordoba Pelaez M, Varela Ugarte A. Minimally invasive video thoracoscopic correction of pectus excavatum. *Arch. Bronconeumol.* 2002; 38(8):392-5.
49. Jaroszewski DE, Johnson K, McMahon L, Notrica D. Sternal elevation before passing bars: a technique for improving visualization and facilitating minimally invasive pectus excavatum repair in adult patients. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2014;147(3):1093-5.
50. Gavryushin SS, Kuzmichev VA, Gribov DA Biomechanical modeling of surgical treatment of pectus excavatum. *Rossiyskiy zhurnal biomekhaniki.* 2014; 18: 1; 36-47. (In Russian)
51. Pilegaard HK. Nuss technique in pectus excavatum: a mono-institutional experience. *J. Thorac. Dis.* 2015;7:172-6.
52. Pilegaard H.K. Minimal Invasive Repair of Pectus Excavatum. *Chest Wall Deformities and Corrective Procedures.* 2016: 67-70.
53. Bardaji C., Cassou L. Taulinoplasty: the traction technique—a new extrathoracic repair for pectus excavatum. *Ann. Cardiothorac. Surg.* 2016;5(5):519-22.
54. Korolyov PA, Kozhevnikov OV, Rudakov SS, Kolerov M.Yu., Lysikov VA The results of radical thoracoplasty from small accesses with fixation of the sternum of the rib complex with a plate of metal with shape memory effect with pectus excavatum. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N.Priorova.* 2015; 4; 5-9. (In Russian)

Поступила 22 января 2018

Принята в печать 02 апреля 2018