УДК 617.541:616.712-007.2-053.2(045)

DOI: http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872024334-40

Технологія мініінвазивної хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки в дітей

М. О. Камінська, В. А. Дігтяр

Дніпровський державний медичний університет. Україна

The most common method surgical treatment of pectus excavatum (PE) is thoracoplasty according by D.Nuss at the moment. But serious complications associated with trauma to the pericardium, blood vessels, and bleeding are known. Objective. Development of a modified technology surgical correction of pectus excavatum, which involves exclusively extrapleural passage of the plate, according to the individual size and shape of the deformation of the patient's chest, in order to prevent intraoperative complications. Methods. 81 patients aged 10 to 17 years were involved in the study. A modified technology of extrapleural surgical correction of PE was performed. The plate was carried level of the VI–VII sternocostal joints through the formed through submuscular-extrapleural retrosternal tunnel from right to left under control of right-sided thoracoscopy. The plate was modeled according by individual deformation parameters chest. The analysis was carried out according to the following criteria: age, gender, type of deformity, Haller index, duration of surgery, intraoperative and early postoperative complications according by Clavien–Dindo classification. Results. The median age of patients was (13.8 ± 1.9) years, of which there were 65 (85.25 %) boys, 16 (19.75 %) girls. 48 (59.3 %) children were diagnosed with type I (symmetric) deformity, and 33 (40.7 %) with type II (asymmetric) according to the classification. The median Haller was (4.07 ± 0.62), which corresponds to 2–3 degrees. Differences in the degree of deformation in children of different sexes were not determined (p = 0.828). Impaired lung function was diagnosed in 55.55 % (n = 45), impaired heart function — 40.74 % (n = 33). The duration of the operation was on average (70.6 ± 15.4) minutes, from 50 to 110 minutes. Early postoperative complications were found in 5 (6.17 %) patients classified as grade I (mild) according to the Clavien–Dindo classification, which did not require additional medical or surgical correction. After the operation, the correction of chest deformation was on average (2.35 ± 0.22) according by Haller index, which was statistically significantly (p = 0.001) different from the initial level. Conclusions. The use of modified technology surgical correction of PE meets safety requirements and minimizes postoperative complications. Keywords. Pectus excavatum, thoracoplasty, complications, children.

Наразі найбільш розповсюдженим методом хірургічного лікування вродженої лійкоподібної деформації грудної клітки (ВЛДГК) у дітей є торакопластика за D. Nuss. Проте відомо про серйозні ускладнення, які пов'язані з травмуванням перикарду, судин, кровотечею. Мета. Розробити модифіковану технологію хірургічної корекції ВЛДГК, яка передбачає виключно позаплевральне проведення пластини відповідно до індивідуальних розмірів і форми деформації грудної клітки з метою запобігання інтраопераційних ускладнень. Методи. У дослідження залучено 81 пацієнт віком від 10 до 17 років. Виконано модифіковану технологію позаплевральної хірургічної корекції ВЛДГК. Пластина проводилась на рівні VI–VII грудинно-реберних суглобів по сформованому наскрізному підм'язово-позаплевральному загрудинному тунелю справа наліво під контролем правобічної торакоскопії. Пластину змодельовано згідно з індивідуальними параметрами деформації. Проведено аналіз за наступними критеріями: вік, стать, тип деформації, індекс Haller, тривалість втручання, інтраопераційні та ранні післяопераційні ускладнення за Clavien-Dindo. Результати. У 48 (59,3 %) дітей діагностовано деформацію I типу (симетричну), у 33 (40,7 %) — II типу (асиметричну) згідно з класифікацією Park. Середній індекс деформації за Haller становив (4,07 ± 0,62), що відповідає II–III ступеням. Діагностовано порушення функцій: легень — в 55,55 % (n = 45), серця — 40,74 % (n = 33). Тривалість операції становила в середньому (70,6 ± 15,4) хв, від 50 до 110 хв. Ранні післяопераційні ускладнення виявлені в 5 (6,17 %) пацієнтів, які за класифікацією Clavien-Dindo віднесені до I ступеня (легкі) та не потребують додаткової медикаментозної чи хірургічної корекції. Після виконання операції корекція деформації грудної клітки становила в середньому (2,35 ± 0,22) за індексом Haller, що статистично значущо (p = 0,001) відрізнялось від початкового рівня. Висновки. Застосування модифікованої технології хірургічної корекції ВЛДГК відповідає вимогам безпечності та мінімізує післяопераційні ускладнення.

Ключові слова. Лійкоподібна деформація, торакопластика, ускладнення, діти

Вступ

На сьогодні загальноприйнятим методом хірургічної корекції вродженої лійкоподібної деформації грудної клітки (ВЛДГК) у дітей є методика D. Nuss [1–5]. Операція виконується двома розтинам шкіри, закрито, через плевральну порожнину за грудиною формується тунель, через який проводять пластину, здійснюють її ротацію та корегують деформацію [6].

За період розповсюдження методики з'явились повідомлення про серйозні ускладнення, а саме: ушкодження серця та судин середостіння, травматичні ураження діафрагми та формування діафрагмальної кили, травми печінки, паренхіми легень [7, 8]. Незважаючи на рідкісні випадки їхньої фіксації, усе ж таки потрібно враховувати, що існує загроза життю пацієнта [9, 10].

Хірургічна корекція ВЛДГК за методом D. Nuss вимагає ретельності виконання оперативного втручання під час елевації грудини. Цей спосіб зарекомендував себе не лише як найуживаніший, а й малотравматичний, із достатньою корекцією деформаці та надійністю отриманого результату. Безпека пацієнта з ВЛДГК є ключовою умовою, оскільки вона передбачає уникнення ускладнень, пов'язаних із ушкодженням анатомічних структур середостіння (перикарду, серця, магістральних судин і ін.) та вмісту плевральної порожнини (легень, бронхів) під час виконання елементів процедури елевації грудини. Для хірурга безпечність виконання операції корекції ВЛДГК детермінована, перш за все, досвідом, знанням можливих варіантів проведення провідника та встановлення пластини, візуалізацією дій за допомогою торакоскопії, які дозволяють запобігти цих ускладнень.

Мета: розробити модифіковану технологію хірургічної корекції ВЛДГК, яка передбачає виключно позаплевральне проведення пластини відповідно до індивідуальних розмірів і форми деформації грудної клітки хворого для запобігання інтраопераційних ускладнень.

Матеріал і методи

У дослідження залучено 81 пацієнт віком від 10 до 17 років, яким виконано хірургічне втручання за модифікованою технологією на основі операції D. Nuss із січня 2017 по червень 2024 р. Роботу виконано відповідно до принципів Ґельсінської декларації. Дослідження погоджено на засіданні комісії з питань біомедичної етики при Дніпровському державному медичному університеті (протокол № 1 від 18.01.2015 р). Інформовану згоду на обстеження та лікування отримано від усіх батьків пацієнтів. Ця робота включала ретроспективний аналіз спостережень. Для кожного хворого проаналізовано такі параметри: вік, стать, тип деформації, індекс Haller, тривалість операції, інтраопераційні та ранні післяопераційні ускладнення за класифікацією Clavien-Dindo [11].

Обстеження пацієнтів включало клінічні аналізи крові та сечі, групи крові та резус фактор, біохімічний аналіз крові, ультразвукове дослідження серця, електрокардіографію, спірографію, рентгенографію (пряма та бокова проєкції) та комп'ютерну томографію грудної клітки.

Показанням до оперативного втручання є наявність деформації грудної клітки з індексом Haller $\geq 3{,}25$, значна компресія серця або легень із порушенням їхніх показників у разі індексу Haller $< 3{,}25$.

Техніка операції

Хірургічне втручання проводять під комбінованим ендотрахеальним наркозом в поєднанні з епідуральною аналгезією. На операційному столі проводили антропометричні виміри розмірів лійкоподібної деформації за допомогою лінійки, а саме визначали ширину як відстань між виступаючими частинами ребер на рівні максимального заглиблення (рис. 1, а). Обчислювали індивідуально оптимальну довжину пластини (L), яка вдвічі перевищувала ширину деформації (D), за формулою: $L = 2D$ (рис. 1, б). Далі, під час підготовки пластини до моделювання, проводили її розмітку, відмічали ширину грудини та місця прилягання до найбільш виступаючих частин ребер з обох сторін (рис. 1, в).

Вимірювали глибину лійкоподібної западини за допомогою лінійки (рис. 2, а). Потім виконували моделювання пластини за допомогою спеціального інструмента (рис. 2, б). Її вигинали таким чином, щоб загрудинна частина залишалася горизонтальною на ширину грудини та мала форму платформи, яка повністю відповідає дорсальній поверхні грудини. Бокові частини пластини загинають на рівні максимальної ширини деформації над опорними ребрами, це дає можливість щільного прилягання до грудини й ребер і покращує стабільність. Водночас величина вигину пластини для корекції повинна бути на ½ більше від визначеної глибини лійкоподібної деформації (рис. 2, в). Це необхідно для отримання запланованої корекції грудної клітки.

Проведені попередньо дослідження механічних властивостей пластини показали, що вона витримує коригувальні навантаження, але в бокових відділах виявлено її невідповідність відновленій формі грудної клітки за рахунок збільшення передньо-заднього розміру. Здійснене математичне моделювання новоутвореної форми грудної клітки під час торакопластики за D. Nuss встановило залежність між глибиною деформації та розміром у фронтальній площині. Таким чином розраховано коефіцієнт відновлення форми грудної клітки, який складає 2 ($2\Delta = h$), де h — глибина деформації грудної клітки. Для цього відстань між латеральними кінцями пластини, які відтворюють форму грудної клітки та прилягають до ребер, зменшували на величину ½ глибини лійкоподібної деформації для повноцінного прилягання до ребер у післяопераційному періоді. Також ці дії збільшують площу контакту пластини з грудною кліткою та знижують рівень напруження в системі «грудина-ребра-хребет» [12].

Після передопераційного моделювання форми пластини виконується модифікована технологія хірургічної корекції ВЛДГК (Патент на корисну модель України № 133541. Бюл. № 7, 2019). Потім розмічають операційне поле за допомогою маркера (рис. 3, а). Відмічають позиції грудинно-реберних суглобів VI–VII ребер, як точки входу та виходу пластини зі загрудинного простору та проєкцію розтинів з обох боків. Здійснюють розтини довжиною до 3 см через які формують підм'язові тунелі в напрямках до грудини праворуч і ліворуч (рис. 3, б). Налагоджують доступ для правосторонньої торакоскопії по передній пахвовій лінії грудної клітки вище розтинів шкіри на одне ребро для проведення пластини (рис. 3, в).

Через сформований праворуч підм'язовий тунель вводили провідник і просували його до грудини, між грудинно-реберними суглобами VI–VII ребер. Проведення пластини на цьому рівні зумовлює найменше напруження в системі «грудина – ребра – хребет» та сприяє стабільності розташування [13]. Потім під контролем торакоскопії провідник позаплеврально занурювали в загрудинний простір, справа наліво просували поступальною ходою по задній поверхні грудини позаплевральним чином, до виходу між грудинно-реберними суглобами VI–VII ребер на протилежній стороні грудної клітки, та виводили назовні через підм'язовий тунель (рис. 4, а, б, в).

До провідника приєднували пластину, орієнтуючи її увігнуту частину до грудини (рис. 5, а). Тракцію пластини здійснювали під час витягання провідника по створеному наскрізному підм'язово-позаплевральному тунелю в зворотному напрямку до виходу кінця пластини з протилежної сторони. Від'єднували пластину від провідника і виконували ротацію на 180°, таким чином корегували деформацію грудини (рис. 5, б). Наприкінці пластину фіксували до прилеглих ребер лавсановими нитками. Активно роздмухували легені та видаляли повітря з грудної порожнини через порт. Рани пошарово ушивали (рис. 5, в).

Технологія відрізняється від відомої методики D. Nuss тим, що спочатку індивідуально визначають довжину пластини (за формулою вона вдвічі перевищує ширину лійкоподібної деформації, далі моделюють пластину згідно з анатомічними розмірами грудини, ширини та глибини деформації, визначивши опорні ребра. Пластина має горизонтальну платформу на ширину грудини та по три фіксовані точки вигину з кожної сторони. Потім формують наскрізний підм'язово-позаплевральний загрудинний тунель на рівні VI–VII грудино-реберних суглобів через який за грудиною екстраплеврально проводять пластину. Контроль її проведення та розташування виконують за допомогою правосторонньої торакоскопії, доступ знаходиться по передній пахвовій лінії грудної клітки вище розтинів шкіри на одне ребро для проведення пластини.

Результати

Цю технологію застосували під час хірургічної корекції ВЛДГК 81 особі, з яких хлопчиків — 65 (85,25 %), дівчат — 16 (19,75 %). Середній вік пацієнтів становив (13,8 ± 1,9) років. У 48 (59,3 %) дітей діагностовано деформацію I типу (симетричну), у 33 (40,7 %) — II типу (асиметричну) згідно з класифікацією Park [14]. Середній індекс деформації за Haller становив (4,07 ± 0,62) від 2,87 до 5,30, що відповідає II–III ступеням. Проте різниці за ступенем деформації в дітей різної статі не визначено ($p = 0,828$). Діагностовано порушення таких функцій: легень в 55,55 % ($n = 45$), серця — 40,74 % ($n = 33$). Тривалість операції становила в середньому (70,6 ± 15,4) хв, від 50 до 110 хв.

За результатами післяопераційних спостережень ускладнень, пов'язаних із травматизацією серця, структур середостіння або анатомічних утворень плевральної порожнин, не виявлено. Ранні післяопераційні ускладнення діагностовано в 5 (6,17 %) пацієнтів, за класифікацією Clavien-Dindo вони віднесені до I ступеня (легкі) та не потребують додаткової медикаментозної чи хірургічної корекції. Пневмоторакс зафіксовано в 3 (3,7 %) випадках, вони лікувалися консервативно, плевральна пункція не застосовувалася.

Рис. 1. Виміри розмірів деформації грудної клітки та підготовка пластини до моделювання: а — ширина лійкоподібної деформації грудної клітки; б — оптимальна довжина пластини; в — розмітка пластини

Рис. 2. Підготовка та моделювання пластини: а — визначення глибини лійкоподібної деформації грудної клітки; б — моделювання пластини за допомогою спеціального інструмента; в — визначення величини вигину пластини

Рис. 3. Початкові етапи торакопластики: а — розмітка операційного поля; б — формування підм'язових тунелів з обох сторін; в — правостороння торакоскопія

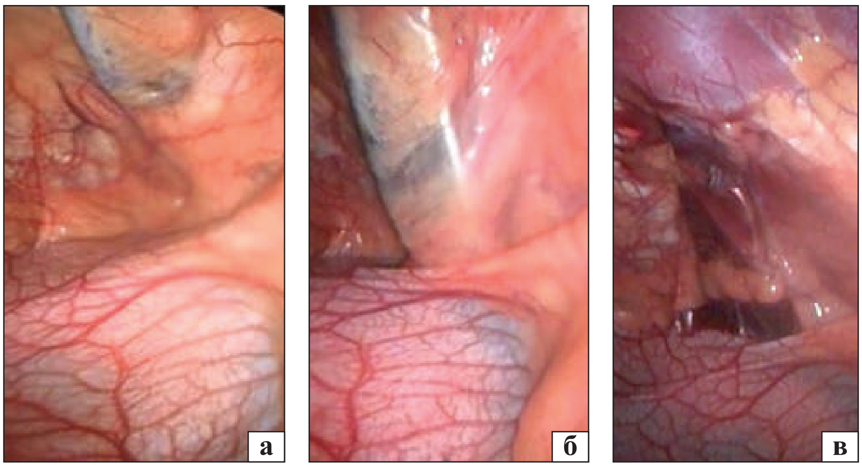

Рис. 4. Позаплевральні етапи торакопластики під контролем торакоскопії: а — занурення провідника в загрудинний простір; б — формування позаплеврального тунелю; в — проведення коригувальної пластини

Рис. 5. Заключні етапи корекції деформації: а — провідник приєднаний до пластини; б — ротація пластини на 180°; в — корекція деформації

Для усунення цього ускладнення в інших пацієнтів ми почали використовувати плевральний дренаж протягом першої доби. Інфікування післяопераційної рани було в 1 (1,2 %) особи. Протягом одного місяця після втручання в 2 (2,5 %) пацієнтів виявлені: ателектаз S10 легені зліва, а в іншому випадку емфізематоз нижнього сегмента лівої легені розміром 8–27 мм без клінічних ознак. Обидва не потребували додаткового медикаментозного чи хірургічного лікування.

Після виконання операції корекція деформації грудної клітки становила в середньому (2,35 ± 0,22) за індексом Haller, що статистично значущо (p = 0,001) відрізнялось від початкового рівня.

На час написання роботи 47 (58,02 %) пацієнтів завершили лікування. Термін корекції становив у середньому (2,6 ± 1,0) рік, від 1,7 до 5,0 років.

Обговорення

Оригінальна методика торакопластики за D. Nuss, яка включала в себе елевацію грудини за рахунок проведення коригувальної пластини ретростернально, без резекції реберних хрящів, запропонована в 1998 році. Ураховуючи «сліпе» проведення пластини, був високий ризик ушкодження органів середостіння, насамперед, серця та перикарду, що спонукало до модифікацій, спрямованих на підвищення безпечності хірургічного втручання.

Перша модифікація, яка полягала в застосуванні торакоскопії для оцінювання плевральної порожнини, візуалізації середостіння, формування тунелю та контролю проведення пластини, рекомендована D. Nuss в 2002 році [15]. Інше моноцентрове дослідження щодо використання торакоскопічного контролю, яке тривало з 2005 по 2015 р., у 95 пацієнтів довело, що частота серйозних ускладнень знижується з 16,1 до 3,16 % [16]. Ми згодні з авторами стосовно правосторонньої торакоскопії, її виконання достатньо для безпечного проведення провідника, формування позаплеврального каналу за грудиною, встановлення пластини та її ротації з усуненням деформації. На нашу думку, штучний пневмоторакс за допомогою інфляції легень, застосування невисоких параметрів їхньої вентиляції за стандартної інтубації пацієнтів однією ендотрахеальною трубкою дозволяють достатньо візуалізувати операційний доступ до загрудинного простору, розташування серця, середостіння, легень і діафрагми. Але в літературі зустрічаються випадки ушкодження серця за правосторонньої торакоскопії в разі тяжких асиметричних деформацій і після відкритих операцій на грудній клітці з приводу вад розвитку серця. Під час хірургічної корекції ВЛДГК у 639 пацієнтів виявлена 1 (0,2 %) перфорація серця та 8 (1,3 %) перикардитів [17]

K. Pawak зі співавт. виконали процедуру за D. Nuss із лівосторонньою торакоскопією 1 006 пацієнтам із ВЛДГК. На їхню думку, більша частина серця знаходиться в лівій плевральній порожнині, тому правильне інтраопераційне оцінювання має вирішальне значення для коректного введення провідника, що в подальшому запобігає травмуванню середостіння. Лівостороння торакоскопія має перевагу перед правосторонньою, проте не зменшує ризики травми серця [18]. Двостороння торакоскопія, на думку P. Lo зі співавт., дозволяє відслідкувати проведення пластини на всіх етапах з обох сторін і допомагає визначити її місце розташування [19]. Проте інші автори (S. O. Senica) інформують про перфорацію серця у дівчинки 12 років у разі асиметричної ВЛДГК тяжкого ступеня з використанням двосторонньої торакоскопії. Це доводить, що остання не має переваг перед односторонньою, через ймовірність ушкодження серця. У літературі описано 16 випадків травмування серця під час операції за D. Nuss [20].

Торакоскопічна екстраплевральна модифікація запропонована K. Schaarschmidt, включає двосторонню торакоскопію, виключно екстраплевральне розташування пластини та її фіксацію не менше ніж 10 перікостальними швами [21]. Ми згодні з автором, що саме таке розташування пластини має переваги, бо не відбувається прямого контакту пластини з вісцеральною плеврою, легенями та перикардом, який може сприяти розвитку вторинного пневмотораксу, або випоту в плевральній порожнині та перикарді. Результат застосування цієї модифікації — відсутність вторинних пневмотораксів, сером, випоту в плевральній порожнині та зменшення кількості випадків перикардиту до 0,65 % порівнянно з оригінальною методикою (2,43 %). У нашому дослідженні ми не спостерігали вказаних ускладнень зі сторони легень і перикарду. Вважаємо кращим розташування пластини в позаплевральному тунелі, це фізіологічніше та безпечніше, що дає можливість запобігти загрозливим для життя ускладненням.

Відповідне місце введення торакоскопічної камери та розташування її під кутом 30° або 45° — ще одна зі складових безпеки хірургічної корекції ВЛДГК. D. Nuss і співавт. [15] та N. Mennie і співавт. [16] рекомендували розташовувати троакар по середній пахвовій лінії, тобто позаду стандартного доступу, але, на нашу думку, за таких умов недостатньо візуалізації, заважає серце, легені та діафрагма, особливо в разі значних асиметричних деформацій. Ми вводимо троакар по передній пахвовій лінії вище розтину шкіри, що дозволяє уникати ушкодження анатомічних структур середостіння, отримати достатньо вільного операційного простору та мати добру візуалізацію провідника та пластини для їхнього проведення.

Визначення хірургічних ускладнень за ВЛДГК застосовують за класифікацією Clavien-Dindo. K. Pawak зі співавт. навели ранні післяопераційні ускладнення в 35,6 % випадках, які відносились до I та II ступенів, небезпечні для життя спостерігалися в 2 пацієнтів, яким знадобилися повторні втручання [18]. J. Han зі співавт. діагностували ранні післяопераційні ускладнення I ступеня в 17,4 % [22]. Ускладнення які спостерігались у нашому центрі, віднесені до I ступеня (6,17 %), що свідчить про достатню безпечність використання модифікованої технології хірургічної корекції ВЛДГК.

Висновки

Результати показали, що в усіх пацієнтів ускладнень загрози життю не було, а ранні післяопераційні в 6,17 % випадків не мали клінічного значення, бо не потребували хірургічної корекції.

Таким чином, отримані результати моноцентрової клінічної апробації запропонованої модифікованої технології хірургічної корекції дають можливість рекомендувати її як відповідну вимогам безпечності для виконання через високу ефективність і надійність отриманого результату під час хірургічного лікування вродженої лійкоподібної деформації грудної клітки в дітей.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури

1. Nuss, D., Obermeyer, R. J., & Kelly, R. E. (2016). Nuss bar procedure: past, present and future. *Annals of cardiothoracic surgery, 5*(5), 422–433. https://doi.org/10.21037/acs.2016.08.05
2. Scalise, P. N., & Demehri, F. R. (2023). The management of pectus excavatum in pediatric patients: a narrative review. *Translational pediatrics, 12*(2), 208–220. https://doi.org/10.21037/tp-22-361
3. Brungardt, J. G., Chizek, P. W., & Schropp, K. P. (2021). Adult pectus excavatum repair: national outcomes of the Nuss and Ravitch procedures. *Journal of thoracic disease, 13*(3), 1396–1402. https://doi.org/10.21037/jtd-20-2422
4. Haecker, F. M., Hebra, A., & Ferro, M. M. (2021). Pectus bar removal — why, when, where and how. *Journal of pediatric surgery, 56*(3), 540–544. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2020.11.001
5. Shi, R., Xie, L., Chen, G., …, Ben, X., & Qiao, G. (2019). Surgical management of pectus excavatum in China: results of a survey amongst members of the Chinese association of thoracic surgeons. *Annals of translational medicine,7*(9), 202. https://doi.org/10.21037/atm.2019.05.03
6. Nuss, D., Kelly, R. E., Jr, Croitoru, D. P., & Katz, M. E. (1998). A 10-year review of a minimally invasive technique for the correction of pectus excavatum. *Journal of pediatric surgery, 33*(4), 545–552. https://doi.org/10.1016/s0022-3468(98)90314-1
7. Goretsky, M. J., & McGuire, M. M. (2018). Complications associated with the minimally invasive repair of pectus excavatum. *Seminars in pediatric surgery, 27*(3), 151–155. https://doi.org/10.1053/j.sempedsurg.2018.05.001
8. Bilgi, Z., Ermerak, N. O., Laçin, T., Bostancı, K., & Yüksel, M. (2016). Previously complicated nuss procedure does not preclude blind removal of the bar. *The thoracic and cardiovascular surgeon, 64*(1), 83–86. https://doi.org/10.1055/s-0035-1564690
9. Hebra, A., Kelly, R. E., Ferro, M. M., Yüksel, M., Campos, J. R. M., & Nuss, D. (2018). Life-threatening complications and mortality of minimally invasive pectus surgery. *Journal of pediatric surgery, 53*(4), 728–732. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2017.07.020
10. Obermeyer, R. J., Goretsky, M. J., Kelly, R. E., Jr, Frantz, F. W., Kuhn, M. A., McGuire, M. M., Duke, D. S., & Paulson, J. F. (2021). Selective use of sternal elevation before substernal dissection in more than 2000 Nuss repairs at a single institution. *Journal of pediatric surgery, 56*(4), 649–654. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2020.07.005
11. Dindo, D., Demartines, N., & Clavien, P. A. (2004). Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey. *Annals of surgery, 240*(2), 205–213. https://doi.org/10.1097/01.sla.0000133083.54934.ae
12. Digtyar, V. A., Kaminska, M. O., & Yaresko, O. V. (2021). Mathematical calculation and value of the coefficient of restoration of the shape of the chest when planning thoracoplasty of congenital funnel-shaped deformation of the chest. *Trauma, 22*(1), 45–51. https://doi.org/10.22141/1608-1706.1.22.2021.226408 (in Ukrainian)
13. Kaminska, M. O., Digtyar, V. A., Yaresko, O. V. (2021). Mathematical modeling of the chest, its funnel-shaped deformation and thoracoplasty. *Orthopedics, traumatology and prosthetics, 2,* 17–22. https://doi.org/ 10.15674/0030-598720212 (in Ukrainian)
14. Park, H. J., Lee, S. Y., Lee, C. S., Youm, W., & Lee, K. R. (2004). The Nuss procedure for pectus excavatum: evolution of techniques and early results on 322 patients. *The Annals of thoracic surgery, 77*(1), 289–295. https://doi.org/10.1016/s0003-4975(03)01330-4
15. Nuss, D., Croitoru, D. P., Kelly Jr., R. E., Goretsky, M. J., Nuss, K. J., & Gustin, T. S. (2002). Review and discussion of the complications of minimally invasive Pectus Excavatum repair. *European journal of pediatric surgery, 12*(4), 230–234. https://doi.org/10.1055/s-2002-34485
16. Mennie, N., Frawley, G., Crameri, J., & King, S. K. (2018). The effect of thoracoscopy upon the repair of pectus excavatum. *Journal of pediatric surgery, 53*(4), 740–743. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2017.07.019
17. Zhang, D. K., Tang, J. M., Ben, X. S., Xie, L., Zhou, H. Y., Ye, X., Zhou, Z. H., Shi, R. Q., Xiao, P., & Chen, G. (2015). Surgical correction of 639 pectus excavatum cases via the Nuss procedure. *Journal of thoracic disease, 7*(9), 1595–1605. https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2015.09.30
18. Pawlak, K., Gąsiorowski, Ł., Gabryel, P., & Dyszkiewicz, W. (2018). Video-assisted-thoracoscopic surgery in left-to-right Nuss procedure for pectus excavatum for prevention of serious

complications - technical aspects based on 1006 patients. *Videosurgery and other miniinvasive techniques*, 95–101. https://doi.org/10.5114/wiitm.2018.72683

19. Lo, P., Tzeng, I., Hsieh, M., Yang, M., Wei, B., & Cheng, Y. (2020). The Nuss procedure for pectus excavatum: An effective and safe approach using bilateral thoracoscopy and a selective approach to use multiple bars in 296 adolescent and adult patients. *PLOS ONE, 15*(5), e0233547. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233547
20. Senica, S. O., Gasparella, P., Soldatenkova, K., Smits, L., & Ābola, Z. (2022). Cardiac perforation during minimally invasive repair of pectus excavatum: a rare complication. *Journal of surgical case reports*, 2022(11), rjac538. https://doi.org/10.1093/jscr/rjac538
21. Schaarschmidt, K. (2011). Modified Nuss «Berlin Technique». *The Journal of pediatrics. 40* (9): 1407–1410. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2005.05.039
22. Han, J., Mou, Y., Wang, D., Xu, Q., & Wang, J. (2023). Modified bar bending method of thoracoscopic nuss procedure on pectus excavatum: a retrospective single-center study. *BMC pediatrics, 23*(1), 109. https://doi.org/10.1186/s12887-023-03909-2

Стаття надійшла до редакції 20.07.2024

TECHNOLOGY OF MINIMALLY INVASIVE SURGICAL CORRECTION FUNNEL-SHAPED DEFORMATION OF THE CHEST IN CHILDREN

M. O. Kaminska, V. A. Dihtiar

Dnipro State Medical University. Ukraine

✉ Marianna Kaminska: mkaminska0307@gmail.com

✉ Valery Dihtiar, MD, Prof.: vdihtiar2017@gmail.com