

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені О.О. БОГОМОЛЬЦЯ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ПИЛИПКО ВЛАСІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 616.541-007.2-089.168-053.2

ДИСЕРТАЦІЯ
МАЛОІНВАЗИВНА КОРЕКЦІЯ
ЛІЙКОПОДІБНОЇ ГРУДНОЇ КЛІТКИ У ДІТЕЙ

22 «Охорона здоров'я»

228 «Педіатрія»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ В.М. Пилипко

Науковий керівник –
Левицький Анатолій Феодосійович,
доктор медичних наук, професор

Київ – 2024

АНОТАЦІЯ

Пилипко В.М. Малоінвазивна корекція лійкоподібної грудної клітки у дітей. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 22 «Охорона здоров'я» за спеціальністю 228 «Педіатрія». – Національний медичний університет імені О.О. Богомольця МОЗ України, Київ, 2024.

Актуальність теми. Pectus excavatum становить понад 90 % усіх вроджених деформацій грудної клітки. Лійкоподібна деформація частіше вражає дітей чоловічої статі у співвідношенні 5:1, за деякими даними 4:1.

За останні два десятиріччя відбулась революція методів корекції деформації грудної клітки з переходом до менш травматичних способів корекції западіння передньої грудної стінки. На сьогоднішній день описано більше 100 методів корекції ЛДГК, перші з яких були застосовані ще у 1911 році.

За останні два десятиріччя відбулась революція методів корекції деформації грудної клітки з переходом до менш травматичних способів корекції западіння передньої грудної стінки. На сьогоднішній день описано більше 100 методів корекції ЛДГК. Методика малоінвазивної корекції швидко стала пріоритетним вибором торакопластики при лійкоподібній грудній клітці, адже не призводила до розвитку хондродистрофії, ригідності та рубців грудної стінки після хірургічних втручань, що включали резекцію реберних хрящів та стернотомію з імплантацією опорної пластини.

Однак залишається невизначеним питання, щодо вибору оптимальної конструкції для хірургічного лікування лійкоподібної деформації грудної клітки, а також біомеханічного обґрунтування даного вибору.

Мета дослідження: Покращити результат хірургічного лікування дітей з лійкоподібною грудною кліткою шляхом застосування малоінвазивних технологій з урахуванням даних біомеханічного дослідження впливу різних типів корегуючих фіксаторів на деформовану грудну клітку при торакопластиці.

Завдання дослідження:

1. Вивчити сучасні підходи до хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки у дітей за даними наукометричних баз (Cochrain Systematic Review Database, PubMed, Medline etc.). Провести порівняння виникнення ускладнень при проведенні оперативних втручань за методами Равіч та Насс.
2. Провести біомеханічне моделювання різних типів хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки. Визначити силові зусилля в системі «грудна клітка-фіксатор».
3. Удосконалити пристрій для елевації передньої грудної стінки з метою підвищення безпеки виконання малоінвазивної хірургічної корекції. Розробити фіксатор для запобігання післяопераційної втрати корекції.
4. Розробити оптимальні варіанти корекції лійкоподібної деформації грудної клітки відповідно віку, ступеню та типу деформації.
5. Оцінити зміни психо-фізичного стану пацієнтів до та після хірургічної корекції деформації грудної клітки.
6. Провести аналіз результатів лікування пацієнтів з ЛДГК та визначити ризик виникнення ускладнень при різних видах корекції деформації.

Об'єкт дослідження – лійкоподібна деформація грудної клітки

Предмет дослідження – методи коригування лійкоподібної деформації грудної клітки.

Матеріали та методи дослідження

Одноцентрове проспективне дослідження групи з 125 пацієнтів у віці від 3 до 17 років з лійкоподібною деформацією грудної клітки, яким було проведено первинне хірургічне втручання за Насс на базі відділення ортопедії та травматології НДСЛ Охматдит міста Києва, яка є клінічною базою кафедри дитячої хірургії НМУ імені О.О. Богомольця протягом 2017-2022 років. Всі дослідження проводяться з урахуванням положень GCP ICH та Гельсінської декларації щодо біомедичних досліджень, у яких людина виступає об'єктом.

За пошуком у наукометричних базах даних Cochrane Library, PubMed, MedLine, ELSEVIER, ScienceDirect, а також архівів журналу «Journal of Pediatric Surgery» було за запитами *pectus excavatum*, *Nuss versus Ravitch*, *comparison Nuss & Ravitch* було знайдено 1734 джерела. Серед означених джерел було знайдено та проаналізовано 9 систематичних оглядів з метааналізом та відібрано 4, які найбільш відповідали меті дослідження.

Проведені експериментальні дослідження пластин для корекції деформацій груднини. Пластини випробували на згин. Згідно даними технічної літератури, якщо величина початкового прогину балки не перевищує $\frac{1}{4}$ її довжини, розрахунки можна виконувати, як для прямої балки. Всього у випробуваннях використовували 6 пластин. В першій частині експерименту кожену пластину випробували окремо, в другій, пластини з'єднали попарно, і кожену пару випробували на згин. Всього було випробувано 3 пари пластин.

Проведено дослідження методом скінчених елементів коригуючого впливу різних типів фіксаторів на лійкоподібну деформацію грудної клітки на математичній моделі. Моделювали 5 схем корекції лійкоподібної деформації грудної клітки: 1. Медіальне проведення фіксатору, точка входу парастернально, з використанням однієї загрудинної пластини з поперечними стабілізуючими планками; 2. Латеральне проведення фіксатору, точка входу та виходу з грудної клітки на рівні передньої пахвової лінії, з використанням однієї загрудинної пластини з поперечними стабілізуючими планками, відповідно загрудинна пластина довша, закінчується на рівні середньої

пахової лінії; 3. Подвійна пластина з поперечними планками з'єднуючими пластини за допомогою гвинтів з медіальним проведенням; 4. Подвійна пластина з поперечними планками з'єднуючими пластини за допомогою гвинтів з латеральним проведенням; 5. Схема з хрестоподібним розташуванням пластин.

Моделі навантажували розподіленою силою 100 Н, прикладеною до грудини. На всіх моделях вивчали величини напружень, відносні деформації реберного хряща. Також вивчали величини максимальних переміщень грудини та коригуючих пластин, як показник збереження досягнутої корекції.

Проаналізовано результати визначення індексів деформації відповідно до класифікації Park у 48 пацієнтів у віці від 3 до 18 років з лійкоподібною деформацією грудної клітки, що проходили лікування у НДСЛ Охматдит. Хлопчиків було 44, дівчат – 4.

В клінічному дослідженні приймали участь 125 дітей у віці від 3 до 17 років. За віком пацієнти були поділені на 2 групи I – до 12 років (27 пацієнтів), середній вік ($7,7 \pm 2,9$) роки; II група – 98 пацієнтів від 12 до 18 років ($14,5 \pm 1,6$) років. Пацієнтам виконували корекцію лійкоподібної деформації грудної клітки однією пластиною (всього 39 осіб) чи системою «Міст», що складається з двох загрудинних пластин з'єднаних між собою поперечними планками (всього 86 осіб). Відповідно групи додатково були поділені за типом коригуючої техніки: в I групі – 16 одинарних пластин та 11 фіксаторів по типу «Міст», у II групі – 23 та 75, відповідно.

Статична обробка для метааналізу проводилась в програмі R з побудовою лісових діаграм та визначенням абсолютного та відносного ризиків типів оперативних втручань. При аналізі даних експериментальних досліджень розраховували середнє значення (M), стандартне відхилення (SD) та розкид значень ($\min \div \max$) досліджень зразків. Визначення відповідності отриманих експериментальних даних одинарних пластин розрахунковим значеннями прогину проводили за допомогою одномірного t-тесту. Оцінку

ризикую виникнення ускладнень проводили із розрахунком абсолютного та відносного ризику, його похибки та 95% стандартного відхилення.

Наукова новизна отриманих результатів. Отримані нові знання про роль та місце різних методів лікування ЛДГК. Вперше розроблено систему вибору тактики лікування пацієнтів з ЛДГК в залежності від віку, ступеню важкості та типу деформації.

Вперше на математичній моделі методом скінчених елементів визначено розподіл навантажень системи «пластина-грудна клітка» при використанні однієї пластини, системи «Міст» та перехресного розташування пластин.

Визначено ризик виникнення ускладнень при використанні для лікування ЛДГК однієї пластини та системи «Міст».

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена система вибору тактики лікування ЛДГК допомагає обрати метод корекції деформації і запобігти розвитку ускладнень. Розроблено новий засіб фіксації для хірургічної корекції ЛДГК у дітей, а також пристрій для інтраопераційної елевації грудної клітки.

Ключові слова: діти, вроджена вада, деформація грудної клітки, педіатрія, операція Nuss, модель хребта з грудною кліткою, лійкоподібна деформація грудної клітки, елевація груднини, хірургічне лікування, малоінвазивна хірургія, хірургічна корекція, больовий синдром, епідуральний метод знеболення, результати, рецидиви.

ABSTRACT

Pylypko V.M. Minimally invasive pectus excavatum repair in children. – Qualifying scientific work as a Manuscript Copyright.

The thesis for obtaining a Doctor of Philosophy degree, branch of knowledge 22 "Health care", specialty 228 "Pediatrics". - Bogomolets National Medical University, Kyiv, 2024.

Pectus excavatum accounts for more than 90% of all congenital deformities of the chest. The funnel-shaped deformity affects male children more often in a ratio of 5:1, according to some data 4:1.

Over the past two decades, there has been a revolution in the methods of correction chest deformity with the transition to less traumatic methods of correcting the depression of the anterior chest wall. For today, more than 100 methods of pectus excavatum correction have been described. The technique of minimally invasive correction quickly became the priority choice of thoracoplasty for funnel-shaped chest, because it did not lead to the development of chondrodystrophy, stiffness and scars of the chest wall after surgical interventions, which included resection of costal cartilages and sternotomy with implantation of a support plate.

However, the issue of choosing the optimal way of surgical repair of funnel-shaped chest deformity, as well as the biomechanical justification of this choice, remains unclear.

Objective of the work: The work is devoted to improve the result of surgical treatment of children with a funnel-shaped chest deformity through the use of minimally invasive technologies, taking into account the data of a biomechanical study of the effect of different types of corrective fixators on a deformed chest during pectus excavatum repair.

Objectives of the study:

1. To study modern approaches to surgical correction of funnel-shaped chest deformity in children according to data from scientific databases (Cochrain Systematic Review Database, PubMed, Medline, etc.). To compare the occurrence

of complications during surgical interventions using the Ravich and Nuss procedure.

2. Conduct biomechanical modeling of various types of surgical correction of funnel-shaped chest deformity. Determine the forces in the "chest-fixator" system.

3. To improve the device for elevation of the anterior chest wall in order to increase the safety of minimally invasive surgical correction. Develop a fixator to prevent postoperative loss of correction.

4. To develop optimal strategy for correction of the pectus excavatum according to the age, degree and type of deformity.

5. To assess changes in the psycho-physical condition of patients before and after surgical correction of chest deformity.

6. To analyze the results of treatment of patients with pectus excavatum and determine the risk of complications with various types of deformity correction.

Research materials and methods

A single-center prospective study of a group of 125 patients aged 3 to 17 years with pectus excavatum who underwent primary Nuss surgery in the Department of Orthopedics and Traumatology of the National Children's Specialized Hospital «OKHMATDYT», which is the clinical base of the Department of Pediatric Surgery of the Bogomolets National medical university during 2017-2022. All research is conducted in accordance with the provisions of GCP ICH and the Declaration of Helsinki on biomedical research in which a person is the subject.

By searching the scientific databases of the Cochrane Library, PubMed, MedLine, ELSEVIER, ScienceDirect, as well as the archives of the Journal of Pediatric Surgery, 1734 sources were found for the queries “pectus excavatum”, “Nuss versus Ravitch”, “comparison Nuss & Ravitch”. Among the identified sources, 9 systematic reviews with meta-analysis were found and analyzed, and 4 were selected as the most corresponding to the purpose of the study.

Experimental studies of plates for correction of deformities of the chest wall were carried out. The plates were tested for bending. According to data from the technical literature, if the value of the initial deflection of the beam does not exceed

$\frac{1}{4}$ of its length, the calculations can be performed as for a straight beam. A total of 6 plates were used in the tests. In the first part of the experiment, each plate was tested separately, in the second, the plates were connected in pairs, and each pair was tested for bending. A total of 3 pairs of plates were tested.

The finite element method of the corrective effect of different types of fasteners on the funnel-shaped deformation of the chest was studied using a mathematical model. Five schemes for the correction of the funnel-shaped deformity of the chest were modeled: 1. Medial entry-point of the fixator, the entry point is parasternal, using one retrosternal plate with transverse stabilizing bars; 2. Lateral passage of the fixator, the point of entry and exit from the chest at the level of the front axillary line, using one sternal plate with transverse stabilizing bars, respectively, the sternal plate is longer, ends at the level of the middle axillary line; 3. Double plate with transverse stabilizers connecting the plates with the help of screws with medial entry-point; 4. Double plate with transverse stabilizers connecting the plates with the help of screws with lateral entry-point; 5. Scheme with a cross-bar placement.

The models were loaded with a distributed force of 100 N applied to the anterior chest wall. Stress values and relative deformations of costal cartilage were studied on all models. The values of the maximum displacements of the anterior chest wall and plates were also studied as an indicator of the preservation of the achieved correction.

The results of determining the deformation indices according to Park's classification in 48 patients aged 3 to 18 years with funnel-shaped deformation of the chest, who were treated at the National Children's Specialized Hospital «Okhmatdyt», were analyzed. There were 44 boys, 4 girls.

125 children between the ages of 3 and 17 took part in the clinical study. By age, the patients were divided into 2 groups I - up to 12 years (27 patients), average age (7.7 ± 2.9) years; Group II – 98 patients aged 12 to 18 (14.5 ± 1.6) years. Patients underwent correction of funnel-shaped chest deformity with one plate (a total of 39 people) or the "Bridge" technique, which consists of two retrosternal plates

connected by transverse bars (a total of 86 people). Accordingly, the groups were additionally divided by the type of corrective technique: in the I group - 16 single plates and 11 "Bridge" technique, in the II group - 23 and 75, respectively.

Static processing for the meta-analysis was carried out in the R program with the construction of flow diagrams and the definition of absolute and relative risks of the types of operative interventions. When analyzing data from experimental studies, the mean (M), standard deviation (SD) and standard deviation (min÷max) of sample studies were calculated. Determination of the correspondence of the obtained experimental data of single plates with the calculated deflection values was carried out using a univariate t-test. The assessment of the risk of complications was carried out by calculating the absolute and relative risk, its error and 95% standard deviation.

Scientific novelty of the obtained results. New knowledge was gained about the role and place of various methods of pectus excavatum treatment. For the first time, a system was developed for choosing treatment tactics for patients with pectus excavatum depending on age, degree of severity and type of deformity.

For the first time, the distribution of loads of the "plate-chest" system using a single plate, the "Bridge" technique, and the cross-bar placement was determined using mathematical models using the finite element method.

The risk of complications when using one plate and the "Bridge" technique for the treatment of pectus excavatum was determined.

Practical significance of the obtained results. The developed system for choosing pectus excavatum treatment tactics helps to choose a method of deformity correction and prevent the development of complications. A new means of fixation was developed for surgical correction of pectus excavatum in children, as well as a device for intraoperative elevation of the chest.

Key words: children, congenital defect, chest deformity, pediatrics, Nuss procedure, thoracic spine model, funnel-shaped chest deformity, anterior chest wall elevation, surgical treatment, minimally invasive surgery, surgical correction, pain syndrome, epidural method of analgesia, results, recurrences.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації:

1. Левицький А.Ф. Пилипко В.М. Годік О. С., Бебешко О.В. Еволюція методик хірургічної корекції ліycopодібно́ї деформації грудної клітки в дітей: одноцентровий досвід. Paediatric Surgery (Ukraine). 2021; 4(73): 38-43. [doi: 10.15574/PS.2021.73.38](https://doi.org/10.15574/PS.2021.73.38). (Дисертантом проведено пошук та аналіз літературних джерел, сформовані висновки, підготував публікацію до друку) ***(У періодичному науковому виданні України, яке індексується в наукометричній базі SCOPUS)***
2. Пилипко В.М., Левицький А.Ф., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д. Експериментальні дослідження величини прогину пластини для корекції ліycopодібно́ї деформації грудної клітки під впливом згинаючого навантаження. Paediatric Surgery (Ukraine). 2023. 1 (78): 35-41; doi: 10.15574/PS.2023.78.35. (Дисертантом розроблено дизайн експерименту, проведено статистичний аналіз результатів, сформовані висновки, підготував публікацію до друку) ***(У періодичному науковому виданні України, яке індексується в наукометричній базі SCOPUS)***
3. Пилипко В.М., Левицький А.Ф., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д., Яреско О.В. Дослідження розподілу напружень в елементах грудної клітки при різних схемах корекції ліycopодібно́ї деформації груднини у дітей. Ортопедія, травматологія та протезування. 2023; (3): 28-35. DOI: <https://doi.org/10.15674/0030-59872023328-35>. (Дисертантом розроблено дизайн дослідження, проаналізовані результати моделювання, сформовані висновки, підготував публікацію до друку). ***(У періодичному науковому виданні України, яке індексується в наукометричній базі SCOPUS)***
4. Пилипко В.М., Левицький А.Ф., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д., Яреско О.В. Порівняльний аналіз напружено-деформованого стану грудної клітки при корекції ліycopодібно́ї деформації із застосуванням двох пластин: порівняння паралельного та схрещеного методів встановлення

фіксаторів. Paediatric Surgery (Ukraine). 2023. 3 (80): 40-49. doi: 10.15574/PS.2023.80.40. (Дисертантом розроблено дизайн дослідження, проаналізовані результати моделювання, сформовані висновки, підготував публікацію до друку). *(У періодичному науковому виданні України, яке індексується в наукометричній базі SCOPUS)*

5. Левицький А.Ф., Пилипко В.М., Карпінський М.Ю., Яресько О.В. Дослідження коригуючого впливу різних типів фіксаторів на лійкоподібну деформацію грудної клітки при операції Nuss. Травма. 2023; 24(3): 45-53. DOI: 10.22141/1608-1706.3.24.2023.954. (Дисертантом розроблено дизайн дослідження, проаналізовані результати моделювання, сформовані висновки, підготував публікацію до друку). *(У періодичному науковому виданні України, група В)*

6. Карпінська О.Д., Левицький А.Ф., Пилипко В.М. Метааналіз процедур Ravitch та Nuss для лікування лійкоподібної деформації грудної клітки у дітей та підлітків. Ортопедія, травматологія та протезування. 2024. 1: 63-71. DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-598720241>. (Дисертантом проведено пошук та аналіз літературних джерел, сформовані висновки, підготував публікацію до друку). *(У періодичному науковому виданні України, яке індексується в наукометричній базі SCOPUS)*

Видання, які додатково відображують наукові результати дисертації:

1. Патент на корисну модель 145159 UA МПК А61В 17/00, А61В 17/68 (2006.01), А61В 17/70 (2006.01). Фіксатор для хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки у дітей / Левицький А. Ф.; Пилипко В. М.; Годік О. С.; Карабенюк О. В.; Буженко В. М.; Бебешко О. В. (Патентовласник: Національний Медичний Університет ім. О.О. БОГОМОЛЬЦЯ). Заявка u202003530 від 11.06.2020. Опубл. 25.11.2020, бюл. № 22. (Автором запропоновано конструкцію фіксатора, оформлено заявку на патент)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дослідження:

1. Levytskyi A, Godik O, Bebeshko O, Diehtiarova D, **Pylypko V** «Single-Center experience of pectus excavatum surgical repair in comparison between three groups of different surgical techniques» 21 Virtual Congress “Chest Wall International Group” (12-13 & 19-20 November, 2020). (Дисертантом проведено пошук та аналіз літературних джерел, підготував до друку публікацію тез, доповідь онлайн)
2. Левицький А.Ф., **Пилипко В.М.**, Годік О.С., Бебешко О.В. Медико-соціальні аспекти реабілітації пацієнтів при використанні малоінвазивних методик хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки. XV Конгрес педіатрів України 12-13 жовтня 2021. Міжнародний журнал педіатрії, акушерства та гінекології. 2021; 14 (1): 71. (Дисертантом проаналізовано результати клінічних досліджень, сформовані висновки, підготовлено публікацію до друку, онлайн доповідь);
3. Godik O., Levytskyi A., **Pylypko V.**, Diehtiarova D. Single-Center Experience of Pectus Excavatum Surgical Repair. III конгрес ендокхірургії «IPEG 2021 Annual Meeting» (11-14 June, 2021, Los Angeles). (Дисертантом проаналізовано результати клінічних досліджень, сформовані висновки, підготовлено публікацію до друку; онлайн постерна доповідь)
4. Левицький А.Ф., **Пилипко В.М.**, Годік О. С., Бебешко О. В. Малоінвазивна хірургічна корекція лійкоподібної деформації у підлітків: практичні поради щодо запобігання можливим ускладненням. Об'єднання науки та практики: до 85-річного ювілею кафедри дитячої хірургії: науково-практична конференція з міжнародною участю (18-19 травня 2023. Одеса). Одеса, 2023: 195. (Дисертантом проаналізовано результати клінічних досліджень, сформовані висновки, підготовлено публікацію до друку, доповідь).

5. Левицький А.Ф., **Пилипко В.М.**, Карпінський М.Ю. Біомеханіка взаємодії фіксатору та елементів передньої грудної стінки при мініінвазивній корекції лійкоподібної деформації грудної клітки. III міжнародна фахова школа для дитячих лікарів хірургічних спеціальностей: «Рух в майбутнє вже сьогодні. Step by step» (8-10 грудня, 2023, Львів). (Дисертантом проаналізовано результати клінічних досліджень, сформовані висновки, , онлайн доповідь).

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць вимірювання, скорочень	17
Вступ	18
РОЗДІЛ 1. Лійкоподібна деформація грудної клітки: сучасний погляд на проблему, еволюція методів лікування (інформаційно-аналітичне дослідження)	22
РОЗДІЛ 2. Матеріали та методи дослідження	40
2.1 Загальна характеристика дослідження	40
2.2 Систематичний огляд із метааналізом.....	41
2.3 Експериментальні дослідження величини прогину пластини для корекції лійкоподібної деформації грудної клітки під впливом згинаючого навантаження.....	42
2.4 Дослідження коригуючого впливу різних типів фіксаторів на лійкоподібну деформацію грудної клітки	44
2.5 Оцінка відповідності Індекса Галлера за даними КТ та рентгенографії.	49
2.6 Оцінка клінічного матеріалу.....	50
2.7 Статистичні дослідження.....	51
РОЗДІЛ 3. Порівняльний аналіз процедур Равіча та Насса для лікування rectus excavatum у дітей та підлітків: систематичний огляд та метааналіз	52
РОЗДІЛ 4 Біомеханічні дослідження міцнісних властивостей грудинно-реберного комплексу та металевих пластинах при малоінвазивній корекції лійкоподібної деформації грудної клітки	68
4.1. Експериментальні дослідження величини прогину пластини для корекції лійкоподібної деформації грудної клітки під впливом згинаючого навантаження.....	68

4.2 Математичне моделювання напружено-деформованого стану моделі грудної клітки при різних варіантах накладання пластин для корекції її лійкоподібної деформації	75
4.2.1 Дослідження розподілу напружень в моделях при різних варіантах корекції лійкоподібної деформації грудної клітки	75
4.2.2 Дослідження розподілу деформацій в моделях при різних варіантах корекції лійкоподібної деформації грудної клітки	83
РОЗДІЛ 5. Розробка пристроїв для проведення хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки.....	92
5.1 Фіксатор по типу «Міст».....	92
5.1 Пристрій для тимчасової елевації западіння грудної клітки під час оперативного втручання.....	96
РОЗДІЛ 6. Система вибору тактики лікування лійкоподібної деформації грудної клітки.....	100
РОЗДІЛ 7 Аналіз результатів хірургічного лікування пацієнтів з ЛДГК. оцінка ризиків розвитку ускладнень.....	113
7.1 Аналіз груп пацієнтів з ЛДГК	113
7.2 Оцінка відповідності Індекса Галлера за даними КТ та рентгенографії.	116
7.3 Оцінка ступеня корекції деформації в процесі проведення операції ..	118
7.4 Оцінка ускладнень	120
7.5 Оцінка результатів лікування	124
Висновки.....	137
Перелік використаних джерел.....	139
Додаток А. Перелік публікацій автора	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток В	160

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ, СКОРОЧЕНЬ

ЕКГ	– електрокардіографія
КТ	– комп'ютерна томографія
ЛДГ	– лактатдегідрогеназа
ЛДГК	– лікоподібна деформація грудної клітки
МРТ	– магнітно-резонансна томографія
МСЕ	– метод скінчених елементів
ОГК	– окружність грудної клітки
УЗД	– ультразвукове дослідження
χ^2	– коефіцієнт кореляції Пірсона
95% CI	– 95% довірчий інтервал
ASI	– Індекс асиметрії грудної клітки
CCI	– Індекс серцевої компресії
Chest X-Ray HI	– Індекс Галлера, виміряний по рентгенограмах
CI	– індекс корекції грудної клітки
FEV1	– Forced Expiratory Volume (об'єм форсованого видиху)
HI	– Індекс Галлера
I^2	– коефіцієнт неузгодженості
PE	– Pectus excavatum
QoL	– опитувальник оцінка якості життя
RR	– Відносний ризик
SDI	– Індекс депресії грудини
TV	– об'єм повітря, яке вдихається і видихається під час спокійного дихання
VC	– vital capacity (життєва ємність легень)
VO ₂	– змішана сатурація

ВСТУП

Актуальність. Лійкоподібна деформація грудної клітки (ЛДГК), або *pectus excavatum* (PE) характеризується заглибленням грудини і нижніх реберних хрящів, що призводить до зменшення передньо-заднього діаметру грудної клітки.

Лійкоподібна грудна клітка становить понад 90 % усіх вроджених деформацій грудної клітки [60]. Лійкоподібна деформація дійсно частіше вражає дітей чоловічої статі у співвідношенні 5:1, за деякими даними 4:1.

За останні два десятиріччя відбулась революція методів корекції деформації грудної клітки з переходом до менш травматичних способів корекції западіння передньої грудної стінки. На сьогоднішній день описано більше 100 методів корекції ЛДГК, перші з яких були застосовані ще у 1911 році. Постійно з'являються нові модифікації способів оперативної корекції даної деформації, видозмінення фіксаторів та перехід від інвазивних технік, що включали резекцію реберних хрящів, описаних Ravitch у 1949 р. [120] та Adkins and Blades у 1961 [24] до малоінвазивної хірургії, що запропонована Нассом з колегами в 1987 році та публікації опису процедури в 1998 році [99], дана методика стала широко застосовуватись. Методика малоінвазивної корекції швидко стала пріоритетним вибором торакопластики при лійкоподібній грудній клітці, адже не призводила до розвитку хондродистрофії, ригідності та рубців грудної стінки після хірургічних втручань, що включали резекцію реберних хрящів та стернотомію з імплантацією опорної пластинки [102, 112, 113].

Однак залишається невизначеним питання, щодо вибору оптимальної конструкції для хірургічного лікування лійкоподібної деформації грудної клітки, а також біомеханічного обґрунтування даного вибору.

Мета дослідження: Покращити результат хірургічного лікування дітей з лійкоподібною грудною кліткою шляхом застосування малоінвазивних технологій

з урахуванням даних біомеханічного дослідження впливу різних типів корегуючих фіксаторів на деформовану грудну клітку при торакопластиці.

Завдання дослідження:

1. Вивчити сучасні підходи до хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки у дітей за даними науковометричних баз (Cochrain Systematic Review Database, PubMed, Medline etc.). Провести порівняння виникнення ускладнень при проведенні оперативних втручань за методами Ravitch та Nuss.

2. Провести біомеханічне моделювання різних типів хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки. Визначити силові зусилля в системі «грудна клітка-фіксатор».

3. Удосконалити пристрій для елевації передньої грудної стінки з метою підвищення безпеки виконання малоінвазивної хірургічної корекції. Розробити фіксатор для запобігання післяопераційної втрати корекції.

4. Розробити оптимальні варіанти корекції лійкоподібної деформації грудної клітки відповідно віку, ступеню та типу деформації.

5. Оцінити зміни психо-фізичного стану пацієнтів до та після хірургічної корекції деформації грудної клітки.

6. Провести аналіз результатів лікування пацієнтів з ЛДГК та визначити ризик виникнення ускладнень при різних видах корекції деформації.

Об'єкт дослідження – лійкоподібна деформація грудної клітки

Предмет дослідження – методи коригування лійкоподібної деформації грудної клітки.

Наукова новизна отриманих результатів. Отримані нові знання про роль та місце різних методів лікування ЛДГК. Вперше розроблено систему вибору тактики лікування пацієнтів з ЛДГК в залежності від віку, ступеню важкості та типу деформації.

Вперше на математичні моделі методом скінчених елементів визначено розподіл навантажень системи «пластина-грудна клітка» при використанні однієї пластини, системи «Міст» та перехресного розташування пластин.

Визначено ризик виникнення ускладнень при використанні для лікування ЛДГК однієї пластини та системи «Міст».

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена система вибору тактики лікування ЛДГК допомагає обрати метод корекції деформації і запобігти розвитку ускладнень. Розроблено новий засіб фіксації для хірургічної корекції ЛДГК у дітей, а також пристрій для інтраопераційної елевації грудної клітки.

Результати роботи впроваджено в практику відділення дитячої хірургії ОХМАТДИТ та начальний процес кафедри дитячої хірургії НМУ імені О.О. Богомольця.

Особистий внесок здобувача. Згідно теми дослідження автором самостійно проаналізовано наукову літературу та патентну інформацію. Самостійно розроблено програму обстеження та хірургічного лікування хворих, критерії їх відбору для дослідження. Приймав участь в розробці математичних моделей, особисто проведено статистичний аналіз результатів лікування. Спільно з науковим керівником проведено узагальнення результатів дослідження та сформульовані висновки. В опублікованих у співавторстві з науковим керівником і колегами працях, автору належать основні ідеї та розробки стосовно методів досліджень та лікування пацієнтів з лійкоподібною деформацією грудної клітки.

Апробація матеріалів дисертації. Результати дисертаційної роботи доведені на 21 Virtual Congress “Chest Wall International Group” (12-13 & 19-20 November, 2020); XV Конгресі педіатрів України (12-13 жовтня 2021); III конгрес ендохірургії «IPEG 2021 Annual Meeting» (11-14 June, 2021, Los Angeles); Науково-практичній конференції з міжнародною участю «Об’єднання науки та практики: до 85-річного ювілею кафедри дитячої хірургії» (18-19 травня 2023. Одеса); III міжнародній фаховій школі для дитячих лікарів хірургічних спеціальностей: «Рух в майбутнє вже сьогодні. Step by step» (8-10 грудня, 2023, Львів).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 6 наукових праць, серед яких: 1 стаття у науковому фаховому виданні України; 5 статей у наукових періодичних виданнях, що індексуються в науковій базі Scopus.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація викладена українською мовою на 160 сторінках і складається з анотації, переліку умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів, вступу, аналітичного огляду літератури, систематичного огляду з метааналізом, розділу експериментального та математичного моделювання методів фіксації, розділу власних розробок, розділу, присвяченому розробці системи вибору тактики лікування ЛДГК, клінічного розділу аналізу результатів лікування, висновків, переліку використаних джерел, додатків.

Перелік літератури містить 144 джерела, з яких 19 викладені кирилицею та 125 – латиницею, а також двох додатків. Дисертація ілюстрована 56 рисунками та 31 таблицею..

РОЗДІЛ 1.

ЛІЙКОПОДІБНА ДЕФОРМАЦІЯ ГРУДНОЇ КЛІТКИ: СУЧАСНИЙ ПОГЛЯД НА ПРОБЛЕМУ, ЕВОЛЮЦІЯ МЕТОДІВ ЛІКУВАННЯ (інформаційно-аналітичне дослідження)

Pectus excavatum (PE), "лійкоподібна деформація грудної клітки", характеризується заглибленням грудини і нижніх реберних хрящів, що призводить до зменшення передньо-заднього діаметру грудної клітки.

Pectus excavatum становить понад 90 % усіх вроджених деформацій грудної клітки [60]. Лійкоподібна деформація частіше вражає дітей чоловічої статі у співвідношенні 5:1, за деякими даними 4:1.

Історія. Перший задокументований випадок *pectus excavatum* був описаний у шістнадцятому столітті французьким натуралістом-ботаніком Johann Bauhinusa, який описав випадок "важкої форми лійкоподібної деформації грудної клітки у пацієнта зі значним тиском на легені, задишкою та пароксизмальним кашлем" [29]. У дев'ятнадцятому столітті з'явилися численні звіти про такі випадки, в яких рекомендувалося лікування "свіжим повітрям, дихальними вправами, аеробними навантаженнями" [68].

У 1911 році Meyer вперше повідомив про відновлення деформації. Він видалив і проаналізував реберний хрящ у пацієнта з *pectus excavatum* [91]. У 1913 році Sauerbruch описав успішні результати лікування пацієнтів із застосуванням більш агресивної техніки висічення цілої ділянки передньої грудної стінки для виправлення деформації, а у 1920-х роках він провів першу операцію з виправлення лійкоподібної деформації за допомогою двосторонньої резекції реберних хрящів та остеотомії грудини [122].

У 1949 році Mark Ravitch на основі методики Sauerbruch було описано виконання відкритої субперихондріальної резекції нижніх реберних хрящів і клиноподібної остеотомії грудини для лікування *pectus excavatum*. Це стало відомим як операція Равіча і золотим стандартом на наступні десятиліття [120]. У 1950-х роках процедура Равіча була модифікована із використанням короткої опорної пластини для покращення корекції [68]. Операція Равіча та

численні її модифікації отримали неабияку популярність, але не позбавлені недоліків. Впродовж 1990-х років з'явилися повідомлення про ускладнення, включаючи перфорацію серця, міграцію опорної пластини, пошкодження судин, синдром Jeune (асфіксійна грудна хондродистрофія).

У 1954 році Judet представив концепцію стерального повороту, як методу лікування западіння груднини, дана операція була виконана в Японії у 1970 році [136], але не набула широкого застосування через високу частку ускладнень, пов'язаних з некрозом груднини.

У 1997 році Дональдом Насом концепція модифікації структури грудної клітки була переглянута і на заміну методу хірургічної резекції для формування передньої грудної стінки було запропоновано використання внутрішньої дугоподібної пластини з нержавіючої сталі для корекції деформації передньої грудної стінки без видалення реберних хрящів. Методика була пробувана на 42 пацієнтах [99].

Сьогодні для хірургічного лікування западіння грудної клітки використовують як методику Насса, так і модифіковану методику Равіча, а пошук нових хірургічних методик залишається сферою активних інноваційних розробок із застосуванням нових підходів у поточних клінічних випробуваннях.

Епідеміологія. Загалом, загальна частота РЕ становить приблизно від 0,1% та 0,8% з поширеністю від 1/1000 до 1/400 випадків серед населення та [29] уражає приблизно 2,6% дітей у віці від 7 до 14 років.

Патогенез і генетична оцінка. Походження хвороби пов'язують з порушенням ембріонального розвитку, що вражає грудино-реберні хрящі [44]. Патологічний процес стосується порушення правильного зрощення ребер і груднини протягом періоду, який починається з 35-го дня вагітності і завершується остаточним окостенінням в підлітковому віці [123].

РЕ має сильний генетичний компонент. Захворювання може бути спадковим у 45% випадків і, швидше за все, є предметом аутосомно-рецесивного механізму успадкування [56]. Деформація грудної клітки може

бути частиною генетичних захворювань, зазначається, що близько 328 синдромів можуть бути пов'язані з деформацією грудної клітки [37] більшість із них дуже рідкісні, але три заслуговують на особливу увагу: синдром Марфана, синдром Нунана та синдром Тернера.

Однак більшість випадків ЛДГК є несиндромальними [74]. Останні дослідження показують, що не існує жодного генного або хромосомного дефекту, відповідального за лійкоподібну грудну клітку, і що етіологія захворювання, швидше за все, багатofакторна.

Характеристика пацієнтів з ЛДГК. Захворювання може впливати на якість життя та дихання, викликаючи задишку, зниження витривалості та біль у грудях. Патологія часто асоціюється порушенням постави. Западиння передньої грудної стінки зазвичай охоплює тіло грудини, рідше ручку грудини, і часто зачіпає дистальну третину передньої грудної стінки. Передньо-задня деформація в окремих випадках може супроводжуватися різним ступенем ротації грудини, що ускладнює корекцію дефекту через його асиметрію. У цьому випадку також часто є супутній сколіоз, який має важливі хірургічні наслідки з точки зору подальшого ведення хворих та необхідності корекції дефекту.

Описані симптоми можуть відрізнятися залежно від тяжкості дефекту та рівня фізичної активності. Пацієнти, які є дуже активними або займаються спортом, демонструють знижений рівень толерантності до фізичних навантажень порівняно з менш активними пацієнтами, деякі можуть повідомити про серцебиття, яке є наслідком того, що серце стискається між двома кістковими структурами (хребтом і грудиною) і єдиним способом збільшити серцевий викид є збільшення частоти серцевих скорочень. Навпаки, пацієнти, які переважно ведуть малорухливий спосіб життя, рідко повідомляють про наявність фізичних симптомів. З фізичними ознаками майже завжди пов'язані психологічні проблеми, що призводять до соціальної ізоляції дитини та відмови брати участь у активності з іншими дітьми.

При підозрі на генетичну природу захворювання проводять рекомендовані генетиком обстеження пацієнта [123].

Анамнез (міопія, вивих кришталика, розширення або розрив аорти, пролапс мітрального клапана, серцебиття або аритмії, легке утворення синців, погане загоєння ран, грижі, переломи, зниження мінеральної щільності кісткової тканини, стеноз легеневого клапана, гіпертрофічна кардіоміопатія, респіраторні/легеневі розлади, затримка розвитку, двостулковий аортальний клапан, коарктація аорти, ниркові аномалії, менструальний цикл);

Сімейний анамнез (члени сім'ї з *pectus excavatum/carinatum*, члени сім'ї із симптомами/діагнозом захворювання сполучної тканини, такого як синдром Марфана, Елерса Данлоса та інших);

Фізичне обстеження (довжина, вага, окружність голови, дисморфізм обличчя, включаючи світлі очі/волосся, високе вузьке піднебіння, низьку задню лінію росту волосся, коротку або перетинчасту шию, оцінку грудної клітки, лійкоподібної/кілеподібної деформації грудної клітки, асиметрії і т. д., довгі кінцівки та пальці, сколіоз, слабкість суглобів, крипторхізм, стрії, м'яка шкіра, світлий колір обличчя/ластовиння);

Ехокардіографія (порушення сполучної тканини разом із розширенням/розривом аорти є ознакою синдрому Марфана; наявність стенозу легеневого клапана свідчить про моногенетичний розлад, такий як синдром Нунана; двостулковий аортальний клапан/коарктована аорта вказує на хромосомний розлад, такий як синдром Тернера);

Променеві методи дослідження. Безконтрастна комп'ютерна томографія грудної клітки з тривимірною реконструкцією грудної стінки є золотим стандартом для оцінки аномалій грудної стінки. Зображення в деяких медичних центрах роблять як на вдиху, так і на видиху, порівняння цих зображень дозволяє виміряти гнучкість грудної стінки [60]. КТ корисно для розрахунку індексу Галлера або індексу корекції, які використовуються для математичних вимірювань дефектів грудної стінки.

МРТ підходить як початкова оцінка; можливо, його низьке за частотою використання може бути зумовлене меншою доступністю в певних країнах. У будь-якому випадку індекс Галлера слід інтерпретувати з обережністю, оскільки, будучи співвідношенням між двома діаметрами, він може бути близьким до нормального навіть при складній деформації. Рентгенографію грудної клітки застосовують після оперативного втручання для контролю ускладнень у вигляді пневмо – та гемотораксу, також оцінюється положення фіксаторів при постановці загрудинних пластин. Деякими дослідниками запропоновано оцінку індексу Галлера за даними рентгенографії грудної клітки в передньо-задній та боковій проекції.

ЕКГ та ехокардіографія. ЕКГ у 12 відведеннях завжди є обов'язковим у пацієнтів з вадами розвитку грудної стінки. Зокрема, найпоширенішими відхиленнями від норми є: блокада правої ніжки пучка Гіса та гіпертрофія передсердь/шлуночків разом із осьовим відхиленням вправо. Іноді у пацієнтів можуть спостерігатися аритмії. [22].

Ехокардіографія є важливою для виявлення анатомічних аномалій серця і відіграє чи не головну роль у пацієнтів з ознаками лійкоподібної деформації грудної клітки.

Проведення УЗД серця орієнтоване на оцінку розмірів аорти, компресії передсердь або шлуночків і функції мітрального клапана (пролапс), оскільки це найчастіші патологічні стани, пов'язані з деформаціями грудної стінки [75].

Обстеження легень є обов'язковим при ЛДГК, яка впливає на дихальну функцію. При сильному стисненні груднини або малому об'ємі грудної клітки показники FEV1, VC, TV та змішаної сатурації VO₂ погіршуються [60]. На додаток пропонується анаеробне тестування рівня VO₂ для кращого дослідження серцевих обмежень, пов'язаних із аномаліями грудної стінки. Зменшення серцевого викиду справді пов'язане зі зниженням споживання кисню, і було показано, що хірургічна корекція зазвичай призводить до значного покращення [130].

Дослідження крові не мають особливого значення для діагностики або оцінки ЛДГК, однак[73] аномальний рівень лактатдегідрогеназа (ЛДГ) корелює з важкими випадками ЛДГК, ймовірно, через стиснення органу, що визначає підвищення рівня сироватки. ЛДГ зазвичай знижується після хірургічної корекції.

Кількісна оцінка відхилень: анатомічні індекси. Для визначення ступеню тяжкості РЕ та вибору методу лікування було розроблено багато індексів (рис. 1.1).

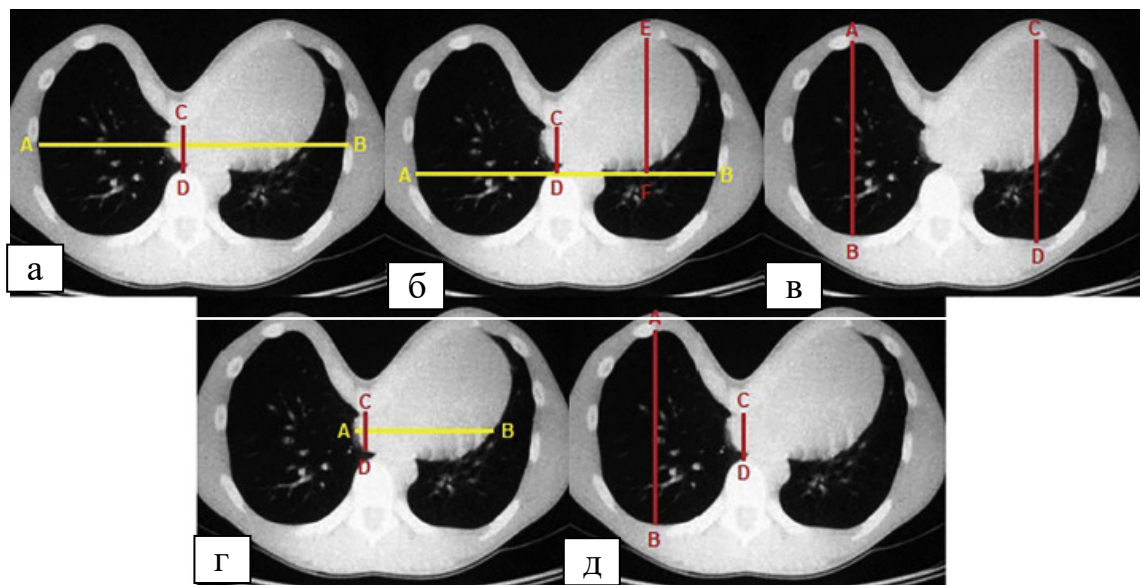


Рис. 1.1. Графічне зображення анатомічних показників на КТ.

- а) Індекс Галлера (HI) = AB/CD ;
- б) Коригувальний індекс (CI) = $(EF-CD)/EF \times 100$;
- в) Індекс асиметрії грудної клітки (ASI) = $AB/CD \times 100$;
- г) Індекс серцевої компресії (CCI) = AB/CD ;
- д) Індекс депресії груднини (SDI) = AB/CD .

Індекс Галлера (HI) було запроваджено наприкінці 1980-х років. Розраховується діленням найширшого поперечного діаметра внутрішньої частини грудної клітки на відстань між передньою частиною хребта та задньою частиною груднини [52]. HI зазвичай розраховується за допомогою комп'ютерної томографії грудної клітки, однак деякі автори пропонують також рентгенографію грудної клітки [72] або МРТ [90]. HI використовується

для виявлення пацієнтів із серйозною деформацією, які потребують хірургічної корекції.

Порогове значення НІ встановлено на рівні 3,25. Значення $> 3,25$ має вказувати на пацієнтів із тяжкою ЛДГК.

Проведений Sujka JA із колегами [129] порівняльний аналіз варіації індексу Галлера у пацієнтів з РЕ та в контрольній групі, визначили, що існує перекриття довірчих інтервалів на рівні 48%, що не дає НІ стати дискримінатором патології. НІ залежить від ширини груднини і може використовуватися лише для оцінки анатомічної тяжкості дефекту лікоподібної деформації. З індексом Галлера не існує суттєвої кореляції між фізичними обмеженнями, труднощами відновлення, довшою тривалістю операції та післяопераційним болем [95].

Індекс корекції. Як еволюцію індексу Галлера, індекс корекції грудної клітки (CI) був розроблений, щоб забезпечити надійний інструмент, який би точно кількісно оцінив тяжкість лікоподібної деформації грудної клітки. St Peter SD з колегами у 2011 році [128] опублікували статтю, спрямовану на визначення точності НІ у пацієнтів з РЕ порівняно з пацієнтами без РЕ.

Індекс корекції розраховується шляхом проведення горизонтальної лінії через передню частину хребта та вимірювання на тому ж зрізі КТ мінімальної відстані між задньою частиною груднини та передньою частиною хребта та максимальної відстані між внутрішнім краєм самої передньої частини грудної клітки та лінією, розміщеною на передній відділ хребта. Потім різницю між цими двома лініями ділять на максимальний виступ передньої грудної стінки і множать на 100. Формула виключає ширину грудної клітки. Діагноз підтверджується, коли CI становить 10% глибини грудної клітки, втраченої на нижньому краї груднини [118].

CI є корисним для підтвердження діагнозу, але не є показанням для операції.

Ні індекс Галлера, ні індекс корекції не враховують симптоми пацієнтів, тому не є остаточним параметром для операції.

Асиметричні форми можуть вплинути на типові розміри *pectus excavatum* та її хірургічну корекцію. Методом кількісної оцінки цього є індекс асиметрії. Він розраховується шляхом вимірювання відстані між переднім і заднім ребрами зліва (L) і справа (R), ділення правого вимірювання на ліве вимірювання та множення на 100 ($[R/L] \cdot 100$). Якщо значення менше 100, це асиметрія праворуч, якщо значення більше 100, асиметрія ліворуч. Чим далі число індексу стає від 100, тим більша асиметрія [30]. Цей індекс використовується для прийняття рішення, щодо хірургічної корекції та оптимальної хірургічної стратегії.

Стиснення серця внаслідок западіння передньої грудної стінки призводить до зміщення серця в ліву половину геміторакусу, легкого повороту за годинниковою стрілкою та млинцеподібного вигляду серця [21]. Два показники, що стосуються серця, включають індекс серцевої компресії (CCI) та індекс серцевої депресії (SDI), які визначають стан серця при западінні грудної клітки.

Індекс серцевої компресії (CCI) розраховується шляхом ділення поперечного діаметра серця на передньо-задній діаметр серця. [126]. У дослідженні, присвяченому вивченню цього показника [30], було виявлено, що він має чутливість 99,4 і специфічність 98,0 зі значенням відсікання 1,82.

Індекс депресії груднини (SDI) розраховується шляхом ділення максимального внутрішнього сагітального діаметра лівої половини грудної клітки на мінімальну відстань між передньою поверхнею хребетного стовпа та задньою межею найглибшої частини груднини [34]. SDI має позитивну кореляцію (0,75) з кутом повороту серця.

CCI та SDI мають спільні обмеження - не існує абсолютного анатомічного еталона для вимірювання діаметра серця, який може змінюватися залежно від віку та ретроспективний характер цих досліджень і відсутність порівнянь до і після операції. Ці показники можуть описувати вплив деформації грудної клітки на анатомію серця пацієнта, але неясно, як це

може вплинути на фізіологічні результати лікування і у яких пацієнтів ці показники будуть найбільш корисними.

Консервативне лікування лійкоподібної деформації грудної клітки.

Для лікування помірних деформацій грудної клітки у молодшої групи пацієнтів були розроблені нехірургічні методи, які також дають позитивні результати у відібраних пацієнтів.

Вакуумний коректор або Vacuum bell терапія є альтернативним методом лікування PE та є успішним в діапазоні від 13,5% до 37,5% випадків [84, 85].

Методика терапії за допомогою вакуумного коректору полягає в щоденному прикладанні присоски до ураженої ділянки передньої грудної стінки протягом 4 годин, лікування може тривати від 4 місяців до 4 років. Перевагами vacuum bell терапії є відсутність серйозних ускладнень, методика безпечна, а побічні ефекти мінімальні або їх легко запобігти. Показаннями для використання вакуумного коректору є: легка деформація, яка не підлягає хірургічному втручанню, помірна або серйозна деформація у пацієнтів, які занадто молоді для операції, відмова від операції, та як перехідний засіб при підготовці до операції в ригідній грудній клітці. Протипоказаннями є: вік до 6 років, супутні захворювання скелета або судин, коагулопатії або серцеві захворювання. За даними Obermeyer RJ [105] гарних результатів можна досягти у пацієнтів до 11 років з глибиною западіння передньої грудної стінки менше 1,5 см. При таких умовах тривалість лікування становить від 4 місяців до 1 року.

До оперативних методів лікування лійкоподібної деформації грудної клітки є техніка Равіча та Насс. Обидва метода мають низку модифікацій.

Оригінальна операція Равіча включає в себе такі етапи: відділення міжреберних м'язів від грудини, субперихондральна резекція реберних хрящів, фіксація других реберних хрящів у вигляді "черепиці", поперечна остеотомія грудини з подальшим встановленням хрящової розпірки в місце стернотомії [120].

Існує велика кількість модифікацій операції Равіча: з використанням сітки [55, 121]; без відділення міжреберних м'язів від грудини [121]; з використанням ребра на судинній ніжці як ретростернальної підтримуючої пластини [53]; поєднання двох поперечних і однієї поздовжньої стернотомії з подальшою імплантацією пластини у вигляді "крила чайки" [23]; з різними варіантами резекції реберних хрящів [46, 93].

Частіше використовують модифікацію операції Равіча, яка включає в себе: розріз шкіри на передній грудній стінці, повне або часткове видалення деформованих реберних хрящів або ж їх перетин, виконання поперечної клиноподібної стернотомії з подальшим встановленням алотрансплантата або різного виду металоконструкцій для фіксації грудної клітки в правильному положенні. Металоконструкцію видаляють через 6-12 міс [38, 57, 86].

За даними літератури операції з використанням методики Равіча та її модифікацій забезпечують хороші та відмінні результати в 90% випадків [38, 47, 49, 57].

Операція Насса, запропонована в 1998 р., полягає в проведенні С-подібної пластини за грудиною для фіксації грудної клітки в правильному положенні. Пластину видаляють через 2-4 роки і пізніше [104].

Методика Насса позиціонується як малоінвазивна методика. Операція не супроводжується розрізами шкіри на передній грудній стінці, резекцією реберних хрящів і стернотомією, у зв'язку з чим зменшується час її виконання і відповідно тривалість наркозу. Ці переваги сприяли швидкій популярності у хірургів, які займалися цією проблемою [36, 54, 113].

Але відносна малоінвазивність операції Насса супроводжується значною кількістю ускладнень, пов'язаних із втручанням, таких, як інфікування і міграція пластини, пневмонія, наявність випоту в плевральній порожнині, гемоторакс, пневмоторакс, серома, некроз шкіри, перикардит, виражений больовий синдром у післяопераційному періоді і навіть перфорація серця під час проведення пластини, життєзагрозлива кровотеча під час видалення пластини [45, 103]. Необхідність у виконанні повторних

оперативних втручань, пов'язаних із зазначеними ускладненнями, виникала за даними авторів у 4,1-11% випадків [54].

Косметичні результати операції Насса розцінюють як "чудові" і "хороші" в більш ніж 85% випадків [60], хоча, за даними автора методики, ці результати досягають 95% [103].

Вибір між методами Равіча та Насса для корекції лійкоподібної деформації грудної клітки зазвичай залежить від індивідуальних особливостей пацієнта, важкості деформації, лікарської практики та попереднього досвіду хірурга. Ось деякі ситуації, коли метод Равіча може бути переважним:

Вік пацієнта: Метод Насса частіше застосовується у дітей та підлітків, оскільки його вплив на розвиток грудної клітки є менш інвазивним [101]. Метод Равіча може бути вибраний для дорослих пацієнтів.

Супутні хірургічні процедури: Якщо пацієнт потребує виконання інших хірургічних втручань (наприклад, корекція інших вад серця чи легень), метод Равіча може бути більш відповідним, оскільки він може бути комбінований з іншими операціями [57]

Пацієнти з попередніми операціями на грудній клітці чи ті, які вже мають внутрішні металеві фіксатори, можуть бути менше підходящими для методу Насса. У таких випадках метод Равіча може бути більш оптимальним.

Обираючи між методами, хірург завжди бере до уваги індивідуальні характеристики пацієнта, його медичну історію, ступінь важкості ЛДГК та можливості корекції. Кінцеве рішення приймається після ретельного обговорення із пацієнтом та оцінки всіх переваг і недоліків кожного методу.

Обидві процедури Насса і Равіча забезпечують досить хороші довгострокові результати, як повідомляється, хороший/відмінний рівень задоволеності у 90/70% пацієнтів [65]. Наявність великої кількості модифікацій цих двох основних методик у різних категорій пацієнтів ускладнює проведення порівняльного аналізу результатів їх використання. Період освоєння будь-якої методики операцій супроводжується вищим відсотком ускладнень і незадовільних результатів.

Відсоток критичних ускладнень, за даними самого автора методики Насса, на початку її застосування становив 28% [99], а надалі знизився до 15,4 % [25, 103]. Збільшення кількості ускладнень має позитивний зв'язок з віком пацієнта.

Fonkalsrud відзначає поліпшення результатів застосування методики Насса у своїй практиці по мірі її освоєння [48].

По даним метааналізу Nasr A [97.] при лікуванні дітей не було визначено значної різниці в загальній частоті ускладнень між методиками Равіча та Насса, але частота повторних операцій через міграцію фіксатору або стійку деформацію була значно вищою в групі Насс. Серед досліджень, присвячених оцінці задоволеності пацієнтів, не було різниці між методами.

До аналогічних висновків дійшли Тосі GR з колегами [132] при аналізі методів Равіча та Насса у дорослих пацієнтів, не було виявлено суттєвих відмінностей у післяопераційних ускладненнях або частоті рецидивів між операціями за Нассом і операціями за Равіч. Післяопераційні ускладнення та частота рецидивів не відрізнялися статистично між процедурами Насса та Равіча всіх типів, що свідчить про те, що обидві процедури можуть бути використані при лікуванні ЛДГК.

Основним ускладненням операції Насса є зміщення пластини або її ротація. Саме це ускладнення деякий час зупиняло поширення цієї операції, особливо у пацієнтів з важкими асиметричними деформаціями. Ускладнення пов'язували з тим, що пластини кріпили до ребер дротом [6, 98, 135] (рис. 1.2, а, б), або лавсановою стрічкою [6], які у деяких випадках не забезпечували тривалого утримання конструкції. Поломка дротового кріплення не є складною проблемою і легко усувається, але не своєчасне реагування на це ускладнення може привести до проблем міграції пластини та порушення корекції деформації [31].

Частота ускладнень зі зміщенням конструкції та складності з фіксацією пластин до ребер приводили до появи оригінальних методів фіксації через масив ребра [50] (рис. 1.2, в)

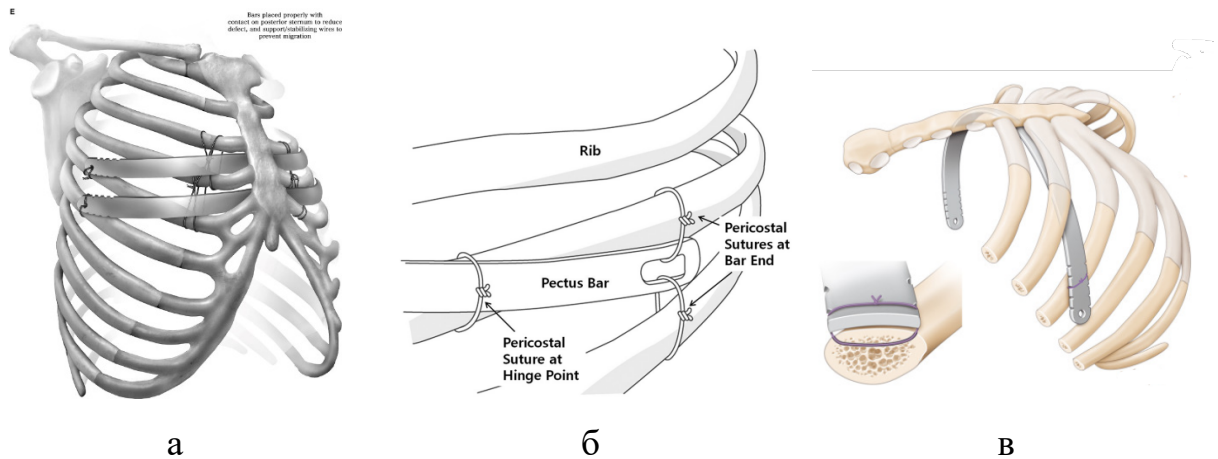


Рис. 1.2 Методи фіксації конструкції дротом:

а) Вісімка FiberWire, що містить ребро над і під проміжком для зміцнення медіального проміжку та запобігання зсуву пластини.

б) Техніка багатоточкової фіксації до ребер: навколокісткові шви фіксують пластину у декількох точках, щоб запобігти краніальному або каудальному зміщенню фіксатору; навколокістковий шов у точці шарніра захищає м'язи від розшарування [110]

в) Фіксація стержня розсмоктуючим транскостальним швом.

Поява цілого ряду спеціальних кріпильних компонентів фіксатору знизило кількість ускладнень, пов'язаних зі зміщенням пластин і збільшило коло використання операції Насса для пацієнтів різних вікових груп і ускладнених деформації грудної клітки [138] (рис. 1.3)

Головною перевагою використання поперечних фіксаторів для установки пластин стало не тільки зменшення випадків зміщення конструкції, а також збільшення точок опори на два, а у деяких випадках і більше ребер, дозволило знизити навантаження та розподілити вплив фіксатору на більшу площу. Такий підхід зменшив кількість таких ускладнень як лізис кісток [143].

В останні роки операція Насса отримала цілу низку модифікацій. Для покращення результатів корекції деформації грудної клітки було запропоновано методики встановлення від двох до чотирьох паралельних пластин, а також перехресне встановлення пластин.

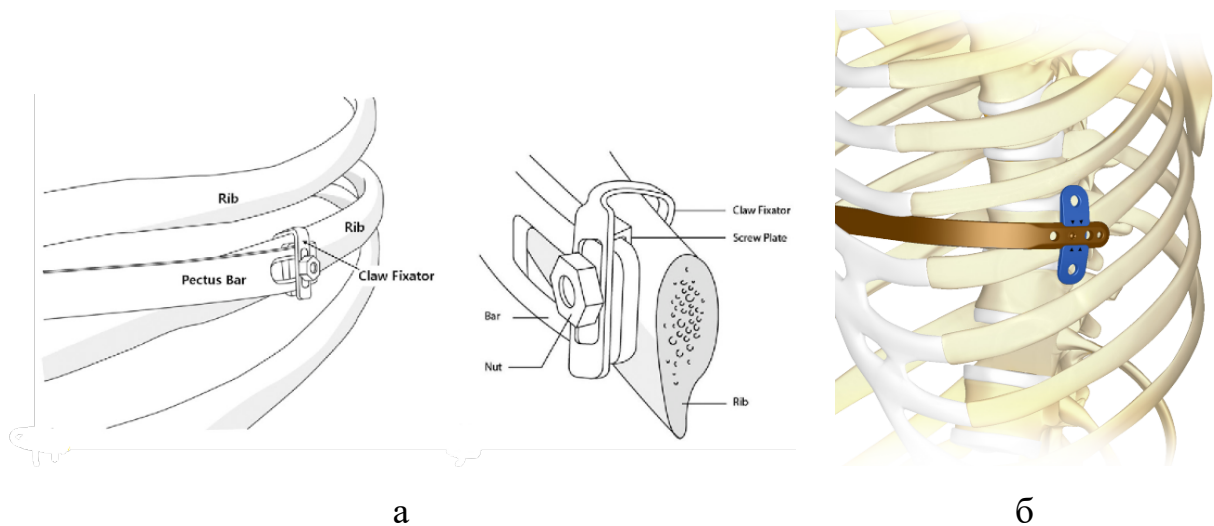


Рис. 1.3. Фіксатори для запобігання зміщення та розвороту пластини:
 а) фіксатор для запобігання зміщенню пластини, що розміщується на ребрі без накладання швів. Лезо фіксатора зачіпляється за ребро і кріпиться до кінцевого отвору планки за допомогою гвинта і гайки;
 б) поперечні пластина для фіксації стерно-костальної пластини.

Пацієнтам з легким симетричним западінням передньої грудної стінки достатньо загрудинної пластини, але пацієнтам з важкими деформаціями, особливо з асиметричним западіннями грудної кістки, часто потрібно дві або більше пластини для досягнення оптимальної корекції. Чим більша асиметричність і важкість деформація, тим більший простір необхідний для елевації западіння. Кілька загрудинних фіксаторів можуть повністю розосередити тиск, щоб мінімізувати можливість зміщення пластини для досягнення кращої форми грудної клітки і полегшення післяопераційного болю [96].

Лікування деформацій типу гранд-каньйон та комбінованих деформацій малоінвазивною методикою Насса викликало появу комбінованого встановлення пластин. Серед них «сендвіч» - метод встановлення пластин з низу та зверху деформації грудної клітки для лікування комбінованих деформацій [111] (рис. 1.4, а) та перехресне, для лікування важких деформацій [94, 58] (рис. 1.4, б). Варіантів комбінованого встановлення коригувальних пластин існує дуже багато, варіант залежить від важкості деформації, ступеня асиметрії, протяжності та положення вершини деформації.

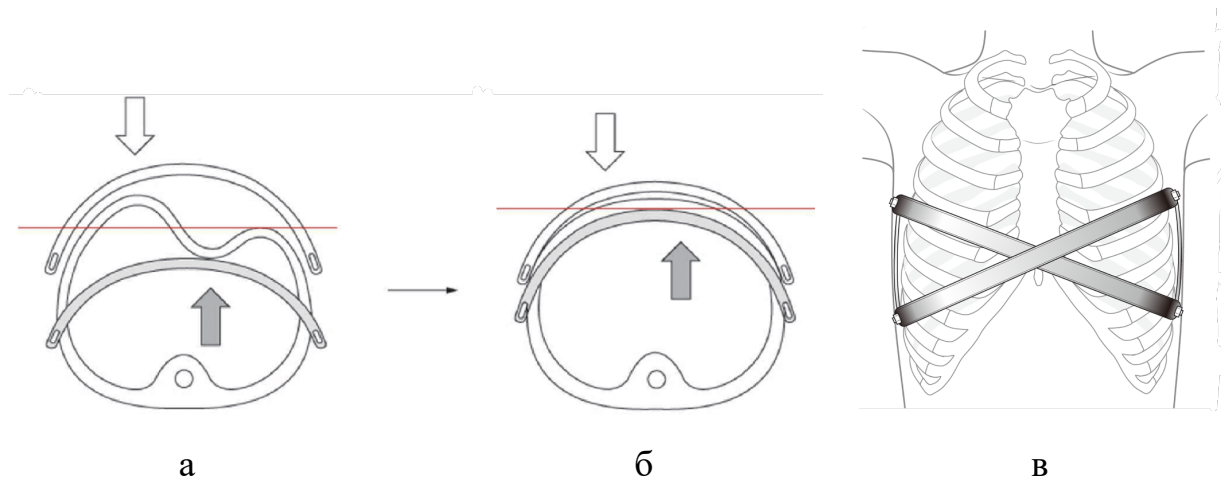


Рис. 1.4. Комбіновані варіанти встановлення пластин:

а) Сандвіч-система. Реконструкція комплексу мечоподібного відростка грудної клітки (pectus carinatum/excavatum): пресове формування передньої грудної стінки за допомогою сандвіча між зовнішньою (біла) та внутрішньою (сіра) пластиною: (а) до корекції; (б) після корекції.

б) перехресне встановлення пластин.

Продовжуються наукові пошуки та розробки пов'язані з методом постановки фіксатору, аналізу впливу системи фіксатору на грудну клітку для досягнення кращих клінічних результатів.

Одним з напрямків аналізу корегуючого впливу є метод скінчених елементів (МСЕ). Даний метод є важливим інструментом сучасного інженерного проектування, який широко застосовується в ортопедії та хірургії. Не виключенням стало вивчення розподілу навантажень конструкції Насса на елементи грудної клітки. Є декілька робіт присвячених впливу металевої конструкції на ребра та грудину при різних типах та формах лійкоподібної деформації грудної клітки. Так Lim BY з колегами [82] вивчали валідацію моделювання процедури Насса у пацієнтів з різними морфологічними типами симетричної деформації. В роботі було доведено, що результати, отримані при моделюванні корелюють з реальними.

Хіе L з колегами [140] провели експерименти для перевірки ортопедичного ефекту індивідуальної пластини при операції Насса, що показало ефективність такого підходу в порівнянні зі звичайними методами.

В роботі Vega-Artiles AG [134] розглянуто вплив стернотомії та хондротомій ребер на жорсткість і напруження в грудній клітці у дорослих пацієнтів, яким виконується операція Насса. Висновком роботи стало, що поперечна стернотомія забезпечила зниження жорсткості грудної клітки від 44% до 54%, залежно від проаналізованого індексу Галлера, в той час як хондротомія сприяла зниженню жорсткості на 70%.

Операція Насса вважається малоінвазивною, але іноді супроводжується доволі серйозними ускладненнями, такими як перфорація легень чи серця, особливо коли деформація передньої грудної стінки викликала зміщення внутрішніх органів. Вирішенням цих проблем стало застосування механізму попереднього підняття груднини до необхідного ступеня корекції та візуальний торакоскопичний контроль. Техніка кран-елевації вперше була описана Парком та його колегами у 2011 році [114, 117]. Хірургічний шов з нержавіючої сталі поперечно проходить через передню кортикальну пластинку груднини в найглибшій точці западіння. Накладення швів виконується під торакоскопичним контролем. Передня грудна стінка піднімається до максимальної корекції западіння для покращення візуалізації простору між серцем та грудиною, відтак це полегшує формування тунелю для пластини та проведення остаточної корекції за допомогою загрудинного фіксатору.

Існує декілька модифікацій кран елевації, основна різниця між ними полягає у способі фіксації груднини до крану: за допомогою гвинта [116], дротяного шва [40], черезшкірного затискача для груднини з ретракторною системою [62] та інші.

Крім розвитку і удосконалення хірургічних підходів до операції Насса, існує і постійно розвиваються анестезіологічні методи, які дозволяють значно знизити термін післяопераційного моніторингу та післяопераційний біль. Серед них епідуральна анестезія [125], інтубаційний наркоз та неінтубаційний наркоз [83]; кріоанелгезія [33].

Сучасний стан методики лікування лійкоподібної деформації грудної клітки за Нассом дозволяє до мінімуму знизити ризик розвитку інтраопераційних та післяопераційних ускладнень на госпітальному і віддалених періодах і роблять її насправді малоінвазивною і відносно безпечною.

Але головним показником будь-якої коригуючої операції є оцінка задоволення пацієнтів своїм «новим» тілом. Серед цілого ряду опитувальників, які допомагають визначити ступінь задоволеності операцією є опитувальник QoL (оцінка якості життя) [79]. Ця анкета має декілька модифікацій – для опитування пацієнтів та батьків. Результати лікування, оцінені саме по цій анкеті частіше використовують в дослідженнях [76]. Роботи, які оцінювали задоволеність по QoL, повідомляли про дуже високий рівень задоволеності пацієнтів як відкритими, так і закритими процедурами в діапазоні від 80% до 97% [39, 59, 71]. В систематичному огляді Walsh J з колегами [137] наведена оцінка результатів лікування ЛДГК за як психо-соціальними показниками, так і змін з боку серцевої, судинної та дихальної систем, змін у фізичних здібностях пацієнтів. Переважна кількість пацієнтів залишаються задоволеними результатами лікування, а також відмічають помітне покращення своїх фізичних можливостей.

Висновки по розділу. Лійкоподібна деформація грудної клітки є доволі поширеною вадою, яка становить понад 90 % усіх вроджених деформацій грудної клітки. Існує два основних підходи в лікуванні цієї патології, це метод Равіча - відкрита пластика грудини і малоінвазивна операція Насса. Методика Насса за останні 30 років набула широкого використання і має багато модифікацій і методів проведення коригувальних пластин. Для кращої корекції деформованої грудної клітки використовують одну, дві або більше паралельно розташованих пластин, встановлення пластин перехресно і з обох сторін деформації. Незважаючи на удосконалення методики Насса і низку частку ускладнень, все ж існує загроза зміщення коригувальних пластин або

їх перегортання. Для запобігання цьому використовують систему «Міст» - здвоєні паралельні пластини, які забезпечують стійкість конструкції в плані зміщення. Однак немає чітких показів до використання подвійного фіксатору (системи «Міст»), критеріїв вибору довжини пластини та оптимальних місць проведення в загрудинний простір. За даними літератури відсутні дані оцінки клінічних результатів корекції лійкоподібної деформації при застосуванні різної кількості фіксаторів.

Питанням вивчення розподілу напружень в грудній клітці та на конструкції методом скінчених елементів розглядається у багатьох публікаціях, але всі вони розглядають варіанти корекції з однією пластиною. Робіт, які б вивчали вплив подвійних пластин на елементи грудної клітки, на момент написання розділу не було знайдено.

За результатами розділу опубліковано

[8] Левицький А.Ф. Пилипко В.М. Годік О. С., Бебешко О.В. Еволюція методик хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки в дітей: одноцентровий досвід. Paediatric Surgery (Ukraine). 2021; 4(73): 38-43. [doi: 10.15574/PS.2021.73.38](https://doi.org/10.15574/PS.2021.73.38)

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Загальна характеристика дослідження

Дизайн дослідження. Одноцентрове проспективне дослідження групи з 125 пацієнтів у віці від 3 до 17 років з лійкоподібною деформацією грудної клітки, яким було проведено первинне хірургічне втручання за Нассом на базі відділення ортопедії та травматології НДСЛ Охматдит міста Києва, яка є клінічною базою кафедри дитячої хірургії НМУ імені О.О. Богомольця, в період з 2017 по 2022 роки.

Критерії включення в дослідження:

- діти віком від 3 до 18 років, основний діагноз – лійкоподібна деформація грудної клітки;
- діагностика та лікування на базі НДСЛ «Охматдит»;
- хірургічне лікування за методом Насса;
- добровільна згода батьків пацієнта або його законних представників на участь у дослідженні з підписанням поінформованої згоди;
- тривалість спостереження не менше 12 міс. після завершення лікування;

Критерії виключення

- комбіновані форми деформацій грудної клітки;
- синдромальні форми деформації грудної клітки;
- вік понад 18 років на момент проведення первинної операції;
- спостереження менше 12 місяців;
- відсутність добровільної згоди батьків пацієнта або його законних представників на участь у дослідженні з підписанням поінформованої згоди.

Критерії оцінки стану пацієнтів

- вік пацієнта;
- тип деформації згідно класифікації [112];
- вираженість деформації по індексу Галлера;
- тип фіксатору;
- час операції;

- крововтрата;
- наявність ранніх та пізніх ускладнень.

Всі дослідження проводяться з урахуванням положень GCP ICH та Гельсінської декларації щодо біомедичних досліджень, у яких людина виступає об'єктом [139].

2.2 Систематичний огляд із метааналізом

За пошуком у наукометричних базах даних Cochrane Library, PubMed, MedLine, ELSEVIER, ScienceDirect, а також архівів журналу «Journal of Pediatric Surgery» було за запитами *pectus excavatum*, *Nuss versus Ravitch*, *comparison Nuss & Ravitch* було знайдено 1734 джерела. Відбір літературних джерел для метааналізу проводили згідно алгоритму PRISMA (рис. 2.1).

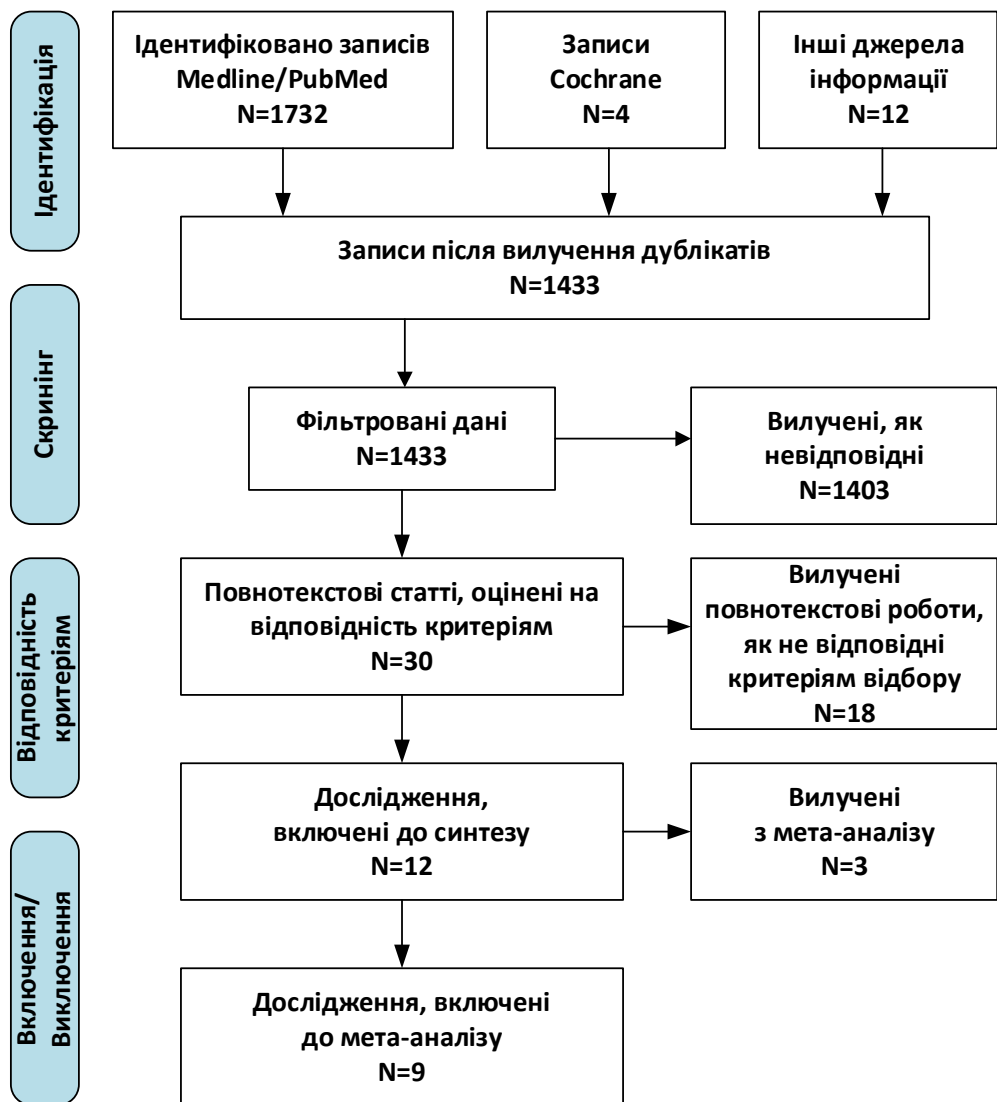


Рис. 2.1. Алгоритм відбору літературних джерел для проведення метааналізу

Серед означених джерел було знайдено та проаналізовано 9 систематичних оглядів з метааналізом та відібрано 4, які найбільш відповідали меті дослідження. П'ять систематичних оглядів з метааналізом були присвячені аналізу та порівнянню серцевої та дихальної функції пацієнтів без поділу пацієнтів за віком і без математичного порівняння методів лікування, тому були виключені з аналізу.

В подальших пошуках, виходячи з поставленою метою було здійснено пошук відповідних повнотекстових статей, які містять необхідні дані для метааналізу. Статична обробка для метааналізу проводилась в програмі R 4.3.2 з побудовою лісових діаграм та визначенням абсолютного та відносного ризиків типів оперативних втручань [2].

2.3 Експериментальні дослідження величини прогину пластини для корекції лічкоподібної деформації грудної клітки під впливом згинаючого навантаження

В лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені проф. М.І.Ситенка НАМН України були проведені експериментальні дослідження пластин для корекції деформацій груднини. Пластини випробували на згин. Згідно даними технічної літератури [133], якщо величина початкового прогину балки не перевищує $\frac{1}{4}$ її довжини, розрахунки можна виконувати, як для прямої балки. Тому була обрана розрахункова схема експерименту, яка наведена на рис. 2.2.

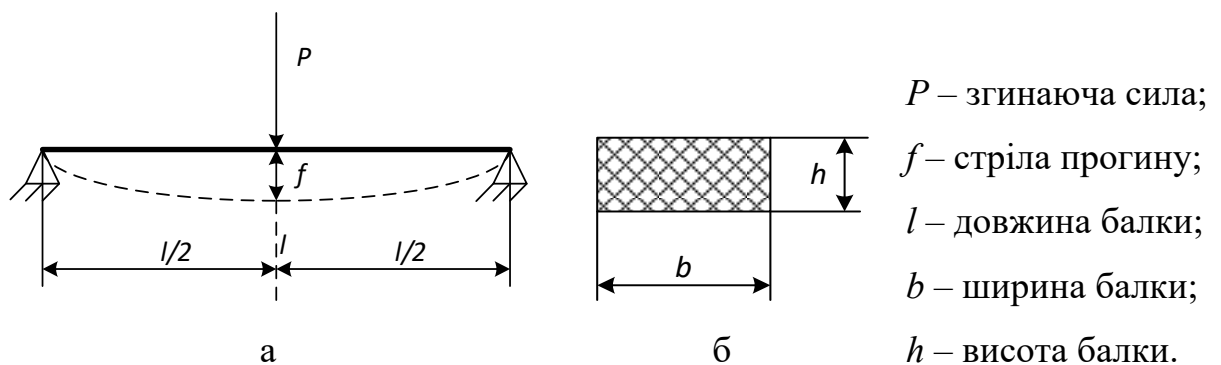


Рис. 2.2. Розрахункова схема:
 а) схема навантаження;

б) профіль балки.

Всього у випробуваннях використовували 6 пластин. В першій частині експерименту кожену пластину випробували окремо. В другій, пластини з'єднали попарно (рис. 2.3), і кожену пару випробували на згин. Всього було випробовано 3 пари пластин.

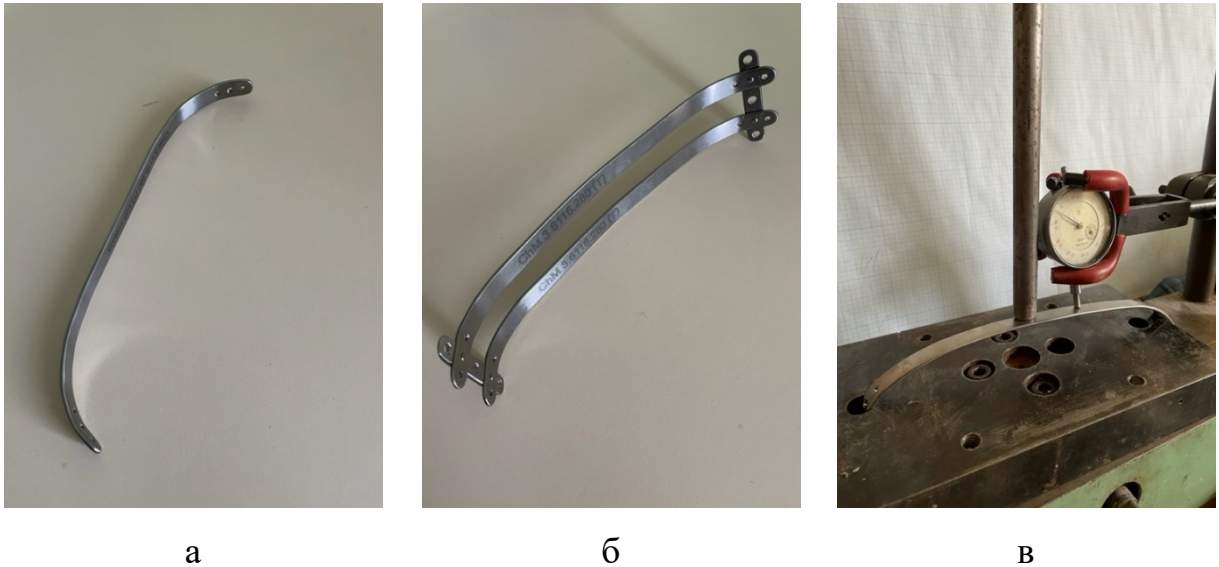


Рис. 2.3. Пластини, які використовували в експерименті:

- а) пластина;
- б) пластини з'єднані в пару;
- в) пластина на стенді для біомеханічних досліджень.

В процесі експерименту величину згинаючої сили поступово збільшували від 0 Н з кроком 50 Н. На кожному кроці фіксували величину прогину пластини. В зв'язку з тим, що діапазон вимірювання величини прогину мікрометром часового типу був обмежений 10 мм, величину навантаження збільшували до досягнення цього показника.

Для контролю величини згинаючої сили використовували тензометричний датчик SBA-100L з пристроєм реєстрації CAS типу CI-2001A. Величину прогину кінця пластини вимірювали за допомогою мікрометра часового типу.

2.4 Дослідження коригуючого впливу різних типів фіксаторів на ліycopодібну деформацію грудної клітки

За основу побудови розрахункової моделі взято модель хребта, розроблену в лабораторії біомеханіки ДУ «ІПХС ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» [3, 4, 19]. На підставі даних про властивості ребер, наведених у роботах R. Schwend, Z. Li [81, 124], й анатомічні особливості їхнього функціонального руху [42, 92] створено розрахункову скінчено-елементну модель у нормі (рис. 2.4) та з ліycopодібною деформацією (рис. 2.5). Розрахунки виконували методом скінчених елементів.

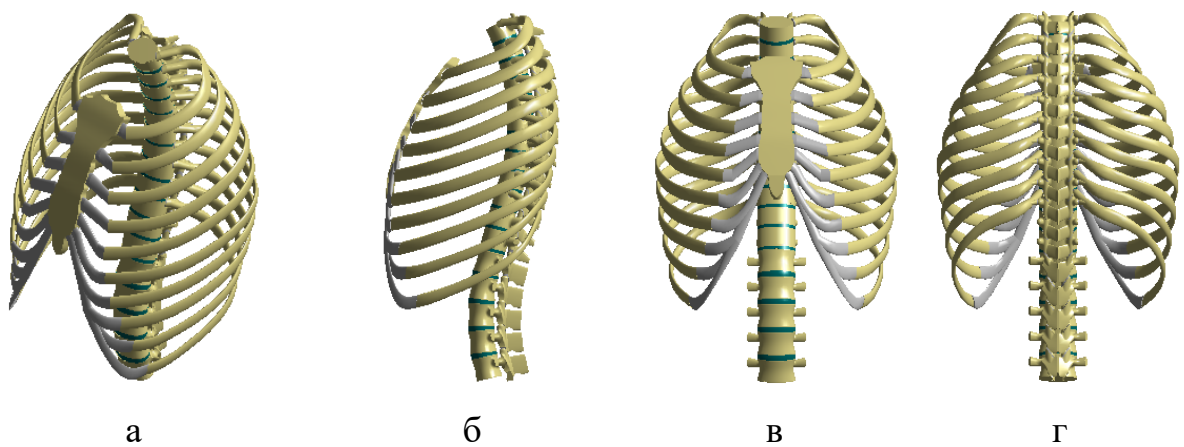


Рис. 2.4. Базова геометрична модель хребта з грудною кліткою в нормі:
а) загальний вид; б) вид в сагітальній площині;
в) вид спереду; г) вид ззаду.

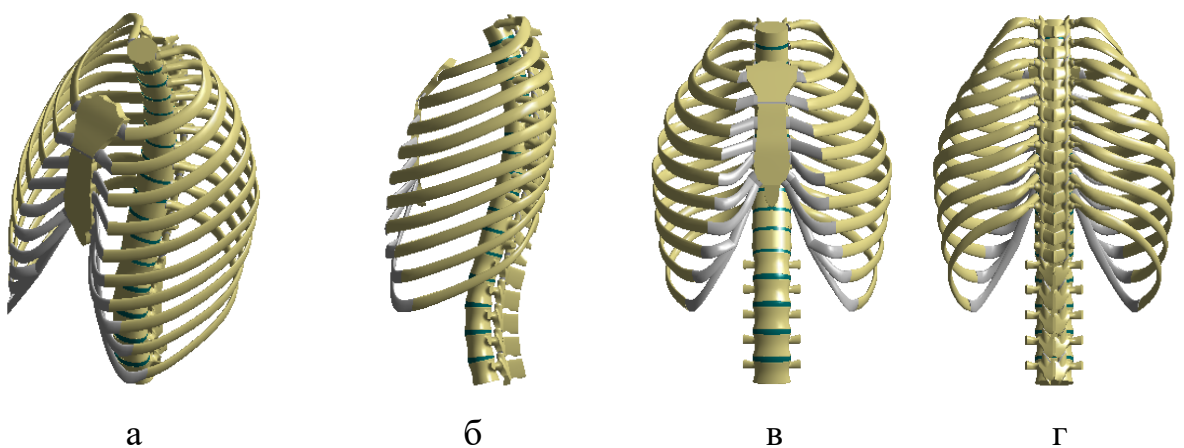


Рис. 2.5. Геометрична модель хребта та грудної клітки з ліycopодібною деформацією:

а) загальний вид; б) вид в сагітальній площині;
в) вид спереду; г) вид ззаду.

Моделювали 4 схеми корекції лійкоподібної деформації грудної клітки:

1. Медіальне проведення фіксатору, точка входу парастернально, з використанням однієї загридинної пластини з поперечними стабілізуючими планками (далі - коротка пластина), схеми встановлення фіксатору наведено на рис. 2.6.

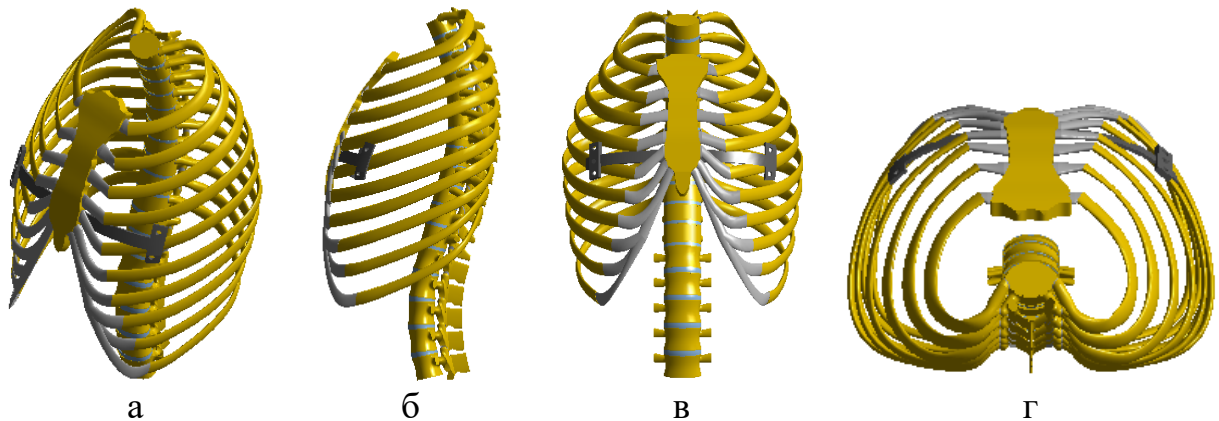


Рис. 2.6. Схема корекції лійкоподібної деформації грудної клітки з накладанням однієї короткої пластини з поперечними стабілізаторами:

- а) загальний вид; б) вид в сагітальній площині;
в) вид спереду; г) вид зверху.

2. Латеральне проведення фіксатору, точка входу та виходу з грудної клітки на рівні передньої пахвової лінії, з використанням однієї загридинної пластини з поперечними стабілізуючими планками, відповідно загридинна пластина довша, закінчується на рівні середньої пахвової лінії (далі - довга пластина), схеми встановлення фіксатору наведено на рис. 2.7.

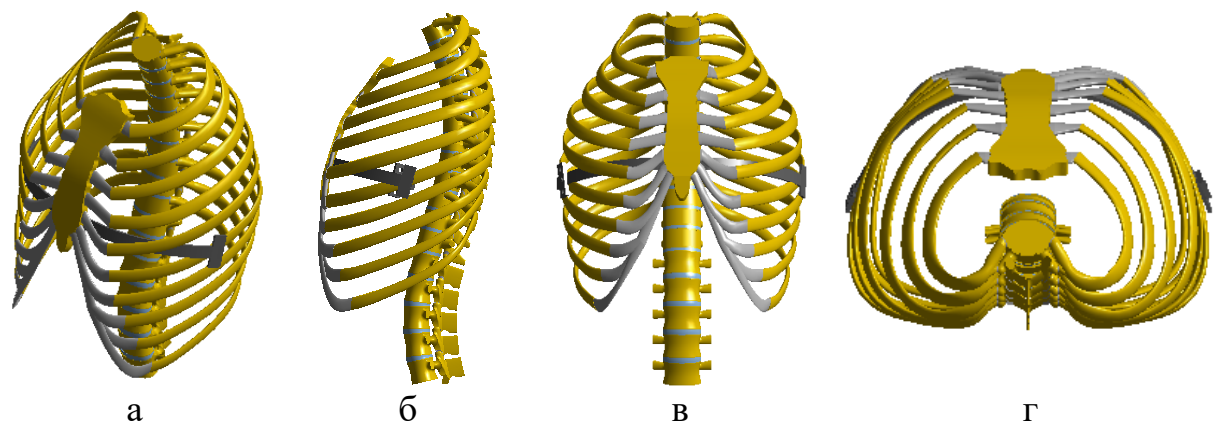


Рис. 2.7. Схема корекції лійкоподібної деформації грудної клітки з накладанням однієї довгої пластини з поперечними стабілізаторами:

- а) загальний вид; б) вид в сагітальній площині;
в) вид спереду; г) вид зверху.

3. Подвійна пластина з поперечними планками з'єднуючими пластини за допомогою гвинтів (короткий фіксатор по типу «Міст») з медіальним проведенням, схеми накладення пластин наведено на рис. 2.8.

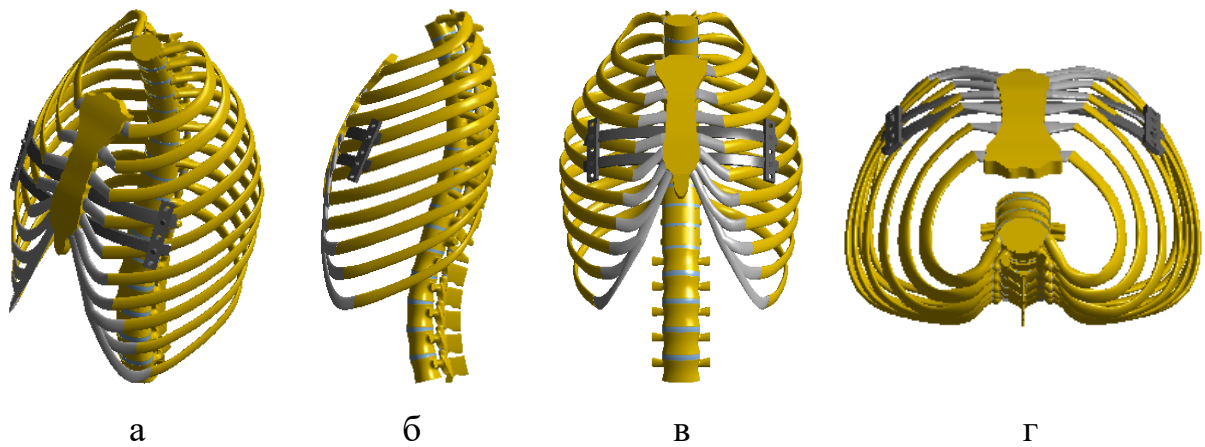


Рис. 2.8. Схема корекції лійкоподібної деформації грудної клітки з використанням короткого фіксатору по типу «Міст»:

- а) загальний вид; б) вид в сагітальній площині;
в) вид спереду; г) вид зверху.

4. Подвійна пластина з поперечними планками з'єднуючими пластини за допомогою гвинтів (фіксатор по типу «Міст») з латеральним проведенням, схеми накладення пластин наведено на рис. 2.9.

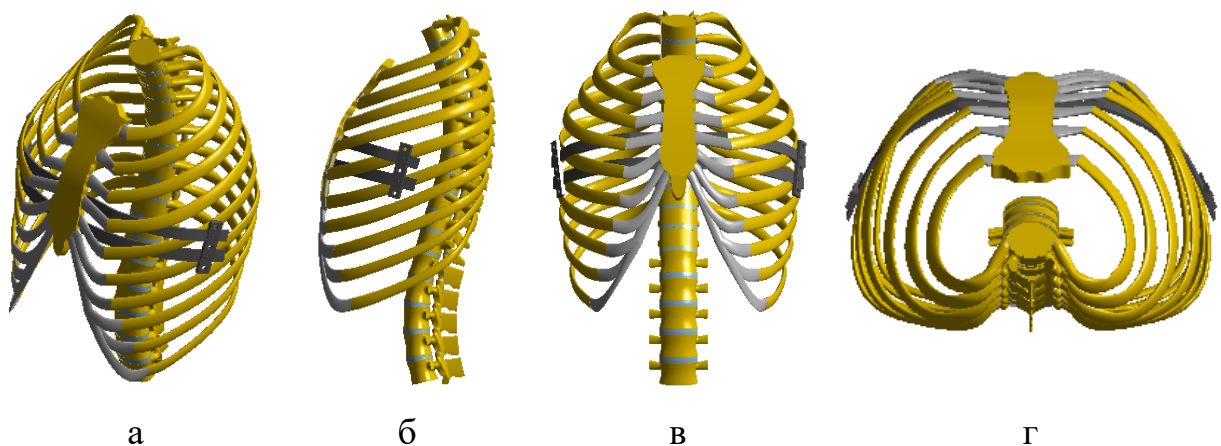


Рис. 2.9. Схема корекції лійкоподібної деформації грудної клітки з використанням довгого фіксатору по типу Міст:

- а) загальний вид; б) вид в сагітальній площині;
в) вид спереду; г) вид зверху.

5. Схема з хрестоподібним розташуванням пластин (далі – схрещений метод), схема накладення пластин наведено на рис. 2.10.

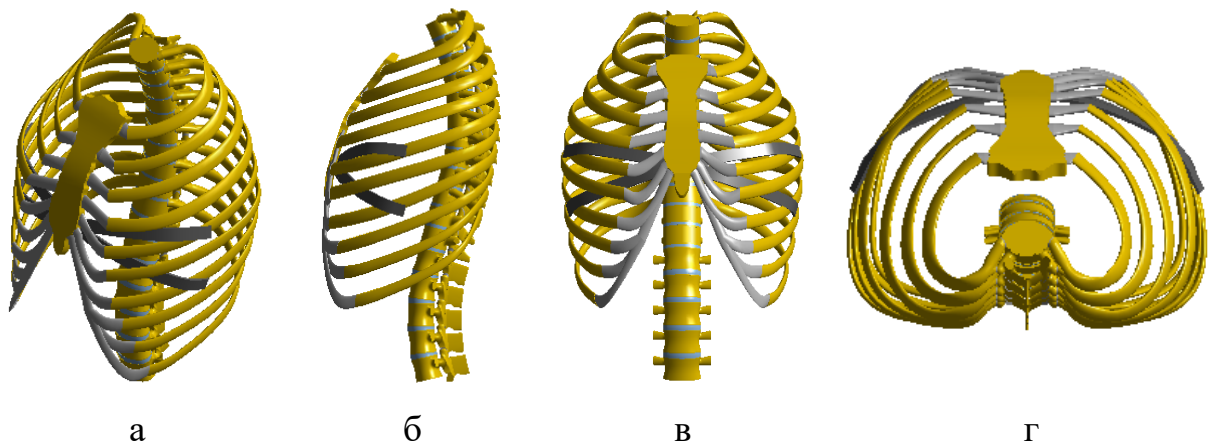


Рис. 2.10. Схема корекції лікоподібної деформації груднини з накладанням двох пластин навхрест:

- а) загальний вид; б) вид в сагітальній площині;
в) вид спереду; г) вид зверху.

При моделюванні матеріал вважали однорідним та ізотропним. В якості скінченного елемента був обраний 10-вузловий тетраедр з квадратичною апроксимацією. Механічні властивості матеріалів відібрано з джерел літератури [1, 28, 141]. Використані характеристики (E — модуль пружності Юнга, ν — коефіцієнт Пуассона) наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Механічні характеристики використаних матеріалів

Тканина	Модуль пружності Юнга E ,	Коеф. Пуассона, ν
Кортикальна кістка	18350,0	0,3
Губчаста кістка	330,0	0,3
Грудина	11500,0	0,3
Хрящ	24,5	0,4
Міжхребцевий диск	4,2	0,45

Моделі навантажували розподіленою силою 100 Н, прикладеною до груднини. По верхній поверхні тіла хребця C1 та по нижній поверхні тіла хребця LV модель мала жорстке закріплення. Таку схему закріплення обрано тому,

щоб модель не перекидалася при однобічному навантаженні на грудину. Схема навантаження моделей наведена на рис. 2.11.

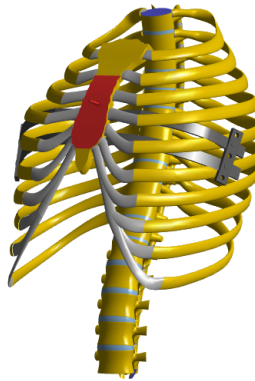


Рис. 2.11. Схема навантаження моделей:

Для порівняння величин напружень в елементах моделей були обрані контрольні точки, схема розташування яких наведена на рис. 2.12.

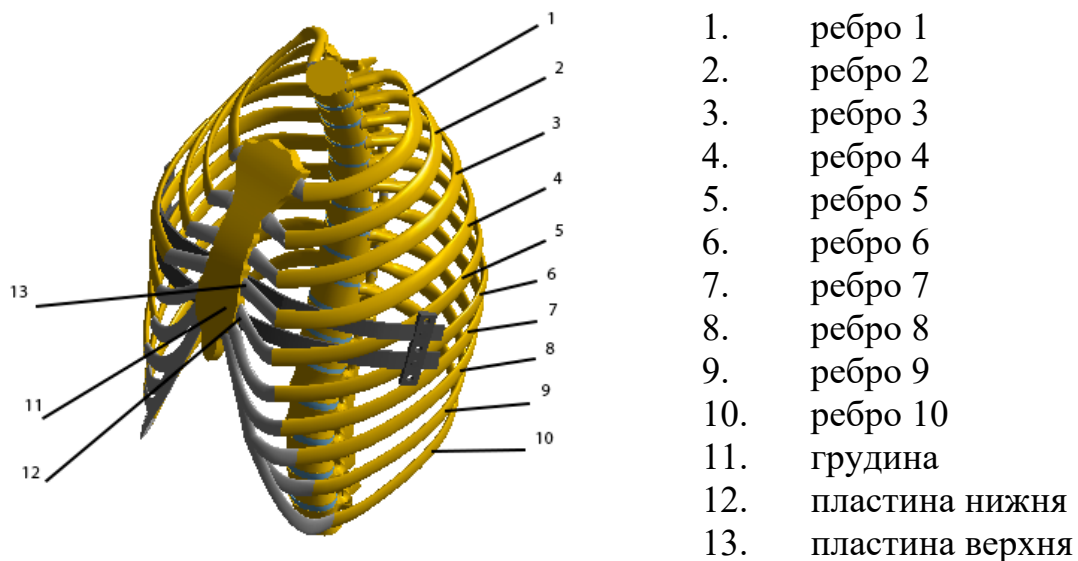


Рис. 2.12. Схема розташування контрольних точок.

В моделі з хрестоподібною схемою розташування пластин верхньою вважали пластину, яка має безпосередній контакт з грудиною.

На всіх моделях вивчали величини напружень у всіх контрольних точках, відносні деформації реберного хряща, як самого м'якого і, як наслідок, найбільш сприятливого до деформації елемента моделей. Також вивчали величини максимальних переміщень грудини та коригуючих пластин, як показник збереження досягнутої корекції.

Під впливом зовнішніх навантажень будь-яка конструкція деформується. В першу чергу деформації виникають в найбільш "слабких" елементах конструкції. Так, як в нашому випадку навантаження прикладене до грудини, яка після корекції тисне на металеві пластини, намагаючись повернутися у вихідне положення, то під його впливом деформуватись, повинні, реберні хрящі, які мають модуль пружності в 10 рази менше навіть за губчасту кістку (табл. 2.1). Отже, на всіх моделях вивчали відносні деформації саме реберного хряща, як самого м'якого і, як наслідок, найбільш сприятливого до деформації елемента моделей.

Показник "відносна деформація" характеризує зміни повздовжнього розміру об'єкта під впливом навантаження, відносно його вихідної довжини, і визначається рівнянням [19]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

де Δl – величина зміни довжини об'єкта під впливом навантаження;

l – вихідна довжина об'єкта до навантаження.

Цей показник є критичним для визначення вірогідності руйнування матеріалу, і не залежить від його реальних геометричних розмірів.

З цієї самої причини, що грудна клітка після корекції її деформації тисне на металеві пластини, намагаючись повернутися у вихідне положення, пластини можуть прогинатися, наслідком чого є втрата корекції, досягнутої під час оперативного втручання. Саме тому вивчали величини максимальних переміщень передньої грудної стінки та коригуючих пластин, як показник збереження досягнутої корекції.

Побудову моделі здійснювали в програмі SolidWorks [77]. Розрахунки напружено-деформованого стану моделей виконували з використанням програми ANSYS [144].

2.5 Оцінка відповідності Індекса Галлера за даними КТ та рентгенографії.

Було проаналізовано результати визначення індексів деформації у 48 пацієнтів у віці від 3 до 18 років з лійкоподібною деформацією грудної клітки, що проходили лікування у НДСЛ Охматдит. Хлопчиків було 44, дівчат – 4. Відповідно до класифікації Park [112] деформації були 5 типів – симетрична (1а) – 23, симетрична пласка (1в) – 6, асиметрична (2а1) – 9, асиметрична пласка (2а1) – 6, асиметрична гран-каньйон (2а3) - 4 пацієнта. Статистично було оброблено дані, отримані при обробці КТ та за рентгенологічними знімками у двох проекціях (рис. 2.13)

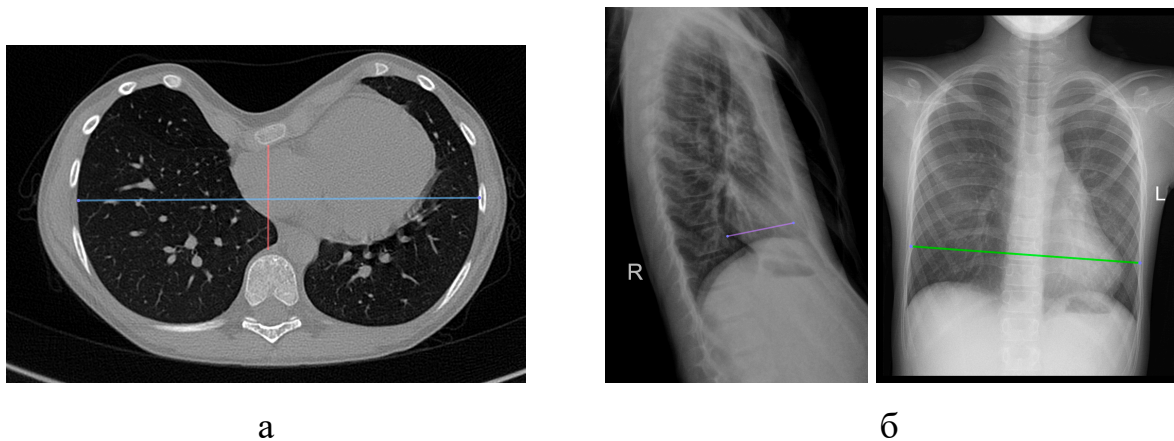


Рис. 2.13. Схема визначення індексу Галлера по КТ і рентгенограмі пацієнта:

а) комп'ютерна томографія грудної клітки, аксіальний зріз в зоні найглибшої деформації, вимірювання індексу Галлера;

б) рентгенограми в передньо-задній та боковій проекції грудної клітки. Вимірювання Chest X-Ray індексу Галлера.

2.6 Оцінка клінічного матеріалу

В дослідженні приймали участь 125 дітей у віці від 3 до 17 років. За віком пацієнти були поділені на 2 групи I – до 12 років (27 пацієнтів), середній вік ($7,7 \pm 2,9$) роки; II група – 98 пацієнтів від 12 до 18 років ($14,5 \pm 1,6$) років.

Пацієнтам виконували корекцію лійкоподібною деформації грудної клітки однією пластиною (всього 39 осіб) чи системою «Міст», що складається з двох загрудинних пластин з'єднаних між собою поперечними планками за

допомогою гвинтів (всього 86 осіб). Відповідно групи додатково були поділені за типом коригуючої техніки: в I групі – 16 одинарних пластин та 11 фіксаторів по типу «Міст», у II групі – 23 та 75, відповідно.

Оцінка результатів лікування була проведена у 42 пацієнтів за адаптованим опитувальником Lawson (додаток В).

2.7 Статистичні дослідження

Дані експериментальних досліджень були оброблені статистично. Було розраховано середнє (M), стандартне відхилення (SD) та розкид значень (min÷max) досліджень зразків. Визначення відповідності отриманих експериментальних даних одинарних пластин розрахунковим значеннями прогину проводили за допомогою одномірного t-тесту. Оцінку ризику виникнення ускладнень проводили із розрахунком абсолютного та відносного ризику, його похибки та 95% стандартного відхилення [43].

РОЗДІЛ 3

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕДУР РАВІЧА ТА НАССА ДЛЯ ЛІКУВАННЯ PECTUS EXCAVATUM У ДІТЕЙ ТА ПІДЛІТКІВ: СИСТЕМАТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА МЕТААНАЛІЗ

Pectus excavatum (PE) — найпоширеніша аномалія розвитку грудної стінки, яка зустрічається у 8 із кожні 1000 дітей. Дефект помітний при народженні приблизно у 86% пацієнтів з деформацією грудної клітки.

У 1949 році M.Ravitch описав техніку відновлення PE, яка потребувала субперихондріальної резекції всіх деформованих реберних хрящів, ексцизії мечоподібного відростку та остеотомії грудини з передньою фіксацією грудини [120]. З незначними змінами ця процедура залишалася вибором протягом майже п'яти десятиліть. У 1998 році Дональд Насс представив малоінвазивну методику, як альтернативу традиційній відкритій процедурі Равіча [99]. Уникнення великої дисекції, резекції хрящів та стернотомії зробило процедуру Насса привабливим хірургічним варіантом для відновлення PE. В дослідженні порівнювалися підходи за класичною методикою відкритого доступу за Равічем та малоінвазивного за Нассом вийшла у 1998 році та оцінювала роботу за період з 1987 по 1996 рік [99]. Перший досвід проведення малоінвазивної операції показав, що з 42 пацієнтів відмінні результати були у 22, гарні – у 4, задовільні – у 2 та погані – у 2 пацієнтів. Ускладнення, пов'язані зі стабільністю пластини спостерігали у перших пацієнтів. По суті це було дослідження, яке висвітили основні напрямки розвитку малоінвазивного підходу лікування PE, а саме – визначення оптимальної жорсткості пластини, методів її стабілізації та визначення показань для цієї методики.

Починаючи з 2000 року малоінвазивний підхід Насса для лікування ЛДГК став поширюватися серед хірургів. На момент початку використання технології Насса, операція за методом Равіча мала низку модифікації, які значно знизили кількість ускладнень як інтраопераційних, так і віддалених

[127]. Саме з цієї причини відносно новий метод Насса за даними ранніх публікацій мав більшу кількість ускладнень, ніж метод Равіча.

На сьогодні, не зважаючи на поширеність малоінвазивних підходів до лікування лійкоподібної деформації груднини, операція за методом Равіча залишається достатньо поширеною і за даними деяких авторів часто є операцією вибору [26]. Це пов'язано з тим, що у деяких пацієнтів операція за Нассом викликає занепокоєння через наявність доволі значної металевої конструкції і необхідності повторного втручання з видалення конструкції, на відміну від операції Равіча – одноетапність, навіть при використанні металевих кріплень.

Саме поширення обох видів хірургічного лікування РЕ, знову і знову повертає авторів до їх порівняння за різними параметрами – часу тривалості операції, крововтраті, ускладненням, тощо.

Систематичний огляд проведено для порівняння лікування *pectus excavatum* у дітей та молодих людей до 20 років хірургічними методами за Равіча та Насса за кількістю ускладнень, які виникають у найближчому (до 30 діб) та віддаленому періодах (2-3 роки).

За пошуком у наукометричних базах даних Cochrane Library, PubMed, MedLine, ELSEVIER, ScienceDirect, а також архівів журналу «Journal of Pediatric Surgery» було за запитами *pectus excavatum*, *Nuss versus Ravitch*, *comparison Nuss & Ravitch* було знайдено 1734 джерела.

Серед означених джерел було знайдено та проаналізовано 9 систематичних оглядів з метааналізом, з яких відібрано 4, які найбільш відповідали меті дослідження. П'ять систематичних оглядів з мета-аналізом [32, 65, 87, 88, 137] були присвячені аналізу та порівнянню серцевої та дихальної функції пацієнтів без поділу пацієнтів за віком і без математичного порівняння методів лікування, тому були виключені з аналізу.

В подальших пошуках, виходячи з поставленою метою було здійснено пошук відповідних повнотекстових статей, які містять необхідні дані для метааналізу.

Побудову лісових діаграм та відповідні розрахунки проводили в програмі R 4.3.2.

Оцінка систематичних оглядів. Найбільш поширений аналіз ефективності лікування PE відкритим та малоінвазивним методами, було проведено Paulo Eduardo de Oliveira Carvalho з колегами у 2014 році - *Surgical interventions for treating pectus excavatum* [41]. Дослідниками було проаналізовано 4111 потенційних джерел, які відповідали поставленій меті, але після їх ретельного аналізу більшість з яких були вилучені через неповноту наданих даних та невідповідності проведених досліджень, тобто дослідження відносилися до нерандомізованих неконтрольованих досліджень. Висновками цього систематичного огляду за трьома умовно прийнятими нерандомізованим дослідженням стало, що хірургічне втручання покращує образ тіла [35, 70, 107]. В одному огляді [63] було зроблено висновок, що хірургічне втручання покращує серцево-легеневу функцію.

На момент написання огляду de Oliveira Carvalho PE з колегами, малоінвазивний метод Насса через відносну новизну та неудоконаленість показував більшу кількість післяопераційних ускладнень таких як пневмоторакс, гемоторакс та зміщення пластин у віддаленому періоді.

Були проаналізовані 3 систематичних огляди з мета-аналізом, які охоплювали нерандомізовані та кейс-дослідження. Вивчення поданих в роботах недоліків, а саме технічних помилок в текстах, привели нас до того, що проаналізувати першоджерела інформації. Треба відмітити, що обмеження в повнотекстовому доступі деяких публікацій та недоступність корейських баз медичної літератури значно обмежили можливості аналізу.

В мета-аналізі Nasr A з колегами (2010) [97] за результатами 9 робіт наведено порівняльний аналіз операцій Насса і Равіча за такими ознаками: ризик ускладнень та окремо аналіз ризиків виникнення пневмотораксу, гемотораксу, ризик реоперації, а також порівняння тривалості операції та госпіталізації. Доволі ретельно проведений аналіз, але виявлена технічна помилка при побудові деяких лісових діаграм, на яких були переплутані дані

в групах пацієнтів, що призвело до помилкових висновків. Також недоліком цього аналізу було відсутність даних, щодо віку пацієнтів та ступеня початкової деформації.

В мета-аналізі Kanagaratnam A із співавторами (2016) [66] за аналізом 13 робіт проведено порівняння операцій Насса та Равіча за ранніми (госпітальними) та пізніми ускладненнями, у тому числі оцінка ризику зміщення конструкцій та реоперацій. В аналізі, у переліку робіт, що аналізуються були вказані до якої вікової групи пацієнтів відносяться дослідження, але були допущені похибки для деяких робіт щодо віку та співвідношення пацієнтів по статі. Також кількість ускладнень не збігається з аналогічними роботами у мета-аналізі Nasr A. Огляд Kanagaratnam A допоміг обмежити пошук робіт, які присвячені лікуванню дітей та молодих людей.

Мета-аналіз Мао YZ з колегами (2017) [89] розглядає 19 робіт. Порівняльний аналіз проведено для порівняння крововтрати та тривалості госпіталізації. Недоліком наданої інформації є відсутність меж розкиду даних за віком (вказано тільки середнє значення) та відсоток ускладнень без конкретної кількості пацієнтів.

Порівняльний аналіз ускладнень при хірургічному лікуванні лійкоподібної груднини у дітей та молодих людей за методами Равіча та Насса. Користуючись інформацією, яку ми отримали при вивченні результатів мета-аналізів було відібрано 8 робіт, які відповідали меті нашого дослідження (табл. 3.1) [Molik ET, 2001 [93], Jo WM, 2003 [64], дві роботи Kelly R, 2007, 2013, які присвячені одному дослідженню, але аналізують ранні (робота 2007 року) та видалені (2013 рік) ускладнення [69, 70]. Lam WC, 2008 [78]; Boia ES, 2010 [27], Kang CH, 2012 [67]; Papic JC, 2014 [108]; Tikka T, 2016 [131].

Характеристика досліджень, включених в аналіз

Автор, рік видання	Період спостереження	Кількість спостережень		Вік (років) M±SD		Галлер-індекс, M±SD		% чоловіків		Тривалість операції (хв.) (M±SD)	
		Насс	Равіч	Насс	Равіч	Насс	Равіч	Насс	Равіч	Насс	Равіч
Molik E.T., 2001	1995-1999	35	68	9,5	12,60					198	282
Jo W.M., 2003	1995-2002	107	16	7,9±5	8,80±7,4	4,3±1,1	4,0±3,3	73,80	71,40	67,2±33,1	196,9±61
Kelly R., 2007, 2013	Н/Д	284	43	13,6	15,90			85,00			
Lam W.C., 2008	2003-2006	19	24	15,4±2,2	15,50±1,9			94,70	83,30	72,1±19	84,1±24,9
Boia E.S., 2010	2000-2010	10	29	13	9			82,00			
Kang C.H., 2012	2001-2004	53	29	6,6±3,0	4,80±2,5	5,4±2,7	5,7±1,7			53,8±19,4	213,8±60,3
Papic J.C., 2014	2007-2012	125	56	14,6±2,5	15,70±2,4	4,1±1,11	5,21±2,83	81,60	83,90		
Tikka T., 2016	1994-2014	53	116	18,0	18,5			88,00	90,00		

Характеристика ускладнень

Автор, рік видання	Ускладнення, n (%)		Ранні ускладнення (до 30 діб після операції), n (%)		Віддалені ускладнення, n (%)		Зміщення (руйнування конструкції), n (%)		Реоперації, n, (%)	
	Насс	Равіч	Насс	Равіч	Насс	Равіч	Насс	Равіч	Насс	Равіч
Molik E.T., 2001	9 (25,7)	12 (17,6)	9 (25,7)	9 (13,2)	6 (17,1)	4 (5,9)	4 (11,4)	0	8 (22,9)	4 (5,9)
Jo W.M., 2003	17 (15,9)	3 (14,7)	12 (11,2)	3 (18,7)	3 (2,8)	0	4 (3,7)	0	3 (2,8)	0
Kelly R., 2007, 2013^	145 (55,6)	15 (34,8)	145 (51,0)	11 (25,6)	13 з 144 (9,0)	4 з 38 (10,5)	13 з 144 (9,0)	0	3 з 144 (2,1)	0
Lam W.C., 2008	0	13 (54,2)	0	13 (54,2)	0	0	0	12 з 23* (52,2)	0	0
Boia E.S., 2010	3 (30)	19 (65,5)	0	16 (51,7)	3 (30,0)	3 (30,0)	0	3 (30,0)	0	5 (17,2)
Kang C.H., 2012	11 (20,7)	4 (13,8)	11 (20,7)	4 (13,8)	0	0	0	0	9 (17,0)	7 (24,1)
Papic J.C., 2014	15 (12,0)	5 (8,9)	11 (8,8)	5 (8,9)	4 (3,2)	0	7 (5,6)	0	0	0
Tikka T., 2016	3 (5,7)	31 (26,7)	13 (24,5)	23 (19,8)	3 (5,7)	9 (7,8)	3 (5,7)	8 з 66 * (12,1)	1 (1,9)	16 (13,8)

Примітка: * - показані кількість зміщених конструкцій зі встановлених при операції Равіча

^ - у роботі 2013 року аналіз пізніх ускладнень наведено для 182 пацієнтів (144 – Насс; 38 – Равіч)

Загальна оцінка спостережень. У всіх відібраних роботах крім Kelly R (2007) описані ретроспективні дослідження, які охоплюють термін від трьох до двадцяти років. Робота Kelly R відноситься до проспективного мультицентрового дослідження, яке продовжується. Останній опублікований звіт у 2013 році оцінював пізні ускладнення у 182 (144 – Насс та 38 – Равіч) пацієнтів, які залишалися під наглядом до видалення конструкцій.

Дослідження сильно відрізняються за кількістю досліджень, у загальній кількості дані щодо операції Насса (686) в двічі переважають спостереження за Равіч (381). За даними публікацій не можна казати, як змінювалися співвідношення за видами втручань за роками через відсутність таких даних.

У більшості досліджень спостерігається більший вік у пацієнтів, яким проводили операцію за Равіча. Але в дослідженнях Bois ES (2010) середній вік пацієнтів з відкритою технікою операції Равіча менше (9 років), ніж з операцією Насс (13 років). Автори пояснюють тим, що було виконано відкрите виправлення деформації грудної клітки пацієнту у віці 13 місяців через важкий стан, пов'язаний з важкою серцево-легеневою патологією. Також менший вік в групі Равіча відмічено у Kang CH (2012) – $(4,8 \pm 2,5)$ роки в порівнянні з $(6,6 \pm 3,0)$ роки в групі Насса. Пояснюється більш раннім виявленням патології та необхідністю операції, причини пов'язані з цим не вказуються. Як відмічають автори, у більшості випадків різниця у віці незначуща.

Первинний індекс Галлера вказують тільки деякі автори (табл. 3.1), як правило в групах Равіча він більший, але не суттєво.

Серед пацієнтів в обох групах переважають чоловіки, доля яких становить більше 80 %.

За тривалістю операції відмічається значно менший час при виконанні операції Насса (від 50 хв. до 80 хв.) ніж при операції Равіча (від 80 хв. до 4 годин), але це залежить від особливості операції – необхідності встановлення додаткових конструкцій, складності деформації, комбінована операція з одночасним виконанням маніпуляцій на серці або легенях, тощо.

Упередження щодо аналізу ускладнень. Перед тим, як перейти до аналізу ускладнень, треба відмітити про деякі упередження для урахування кількості ускладнень. По-перше, автори по-різному трактують легкі та важкі ускладнення. Деякі поділяють ускладнення, які призвели до реоперації та куповані консервативним методом, інші автори вказують перелік ускладнень без згадування способу їх усунення, а просто наводять їх перелік, або відсоток спостереження. Щодо оцінки ранніх та пізніх ускладнень, автори теж дають їх за різними термінами. Одні вважають ранні ускладнення, які виникли під час перебування в лікарні, тобто у перші 5-7 діб, інші оцінюють ранні ускладнення у перші 30 діб. Щодо переліку самих ускладнень, то він також дуже варіабельний. Деякі автори враховують всі ускладнення у тому числі такі як набряки, синці, алергічні висипи, інші враховують тільки складні – пневмоторакс, гемоторакс, запалення рани та інфекції, зміщення конструкції та її елементів, які потребували або інтенсивної терапії, або термінового хірургічного втручання. Кількість ускладнень також в роботах представлена по-різному, в деяких вказується загальна кількість ускладнень, в інших кількість пацієнтів з ускладненнями. Враховуючи те, що у деяких пацієнтів може спостерігатися декілька ускладнень, наведені дані можуть не правильно відображати оцінку ризику їх виникнення. Щодо віддалених ускладнень, то автори стверджують, що не всі пацієнти потрапили до уваги на всьому терміні спостереження, тому такі ускладнення дані на не всю групу, а вирахувати групу повного спостереження неможливо через відсутність відповідних даних.

Щодо даних про зміщення конструкції, тільки 2 автора Lam WC (2012) та Tikka T (2016) повідомили про зміщення конструкцій при операції Равіча. В інших роботах згадується тільки зміщення або перегортання пластин після операції Насса. У роботах, які було проаналізовані, але не увійшли в даний мета-аналіз є повідомлення про зміщення конструкції після операції Равіча [26, 119].

Отже, щоб привести дані до більш-менш однакового вигляду подання ускладнення були поділені на ранні (до 30 діб після операції), пізні (до моменту

видалення конструкції, або тривалого спостереження за даними публікації), зміщення конструкції (як пластин в операції Насса, так і конструкцій в операції Равіча) та повторної операції з приводу рецидиву деформації, або необхідності видалення конструкції через ускладнення.

Аналіз загальної кількості ускладнень. Дані щодо загальної кількості ускладнень наведено в табл. 3.2. Відмітимо, що кількість пацієнтів у групах наведена по даним на початок дослідження, і може не відповідати щодо кількості відділених результатів. Діаграма відносного ризику виникнення ускладнень наведена на рис. 3.1.

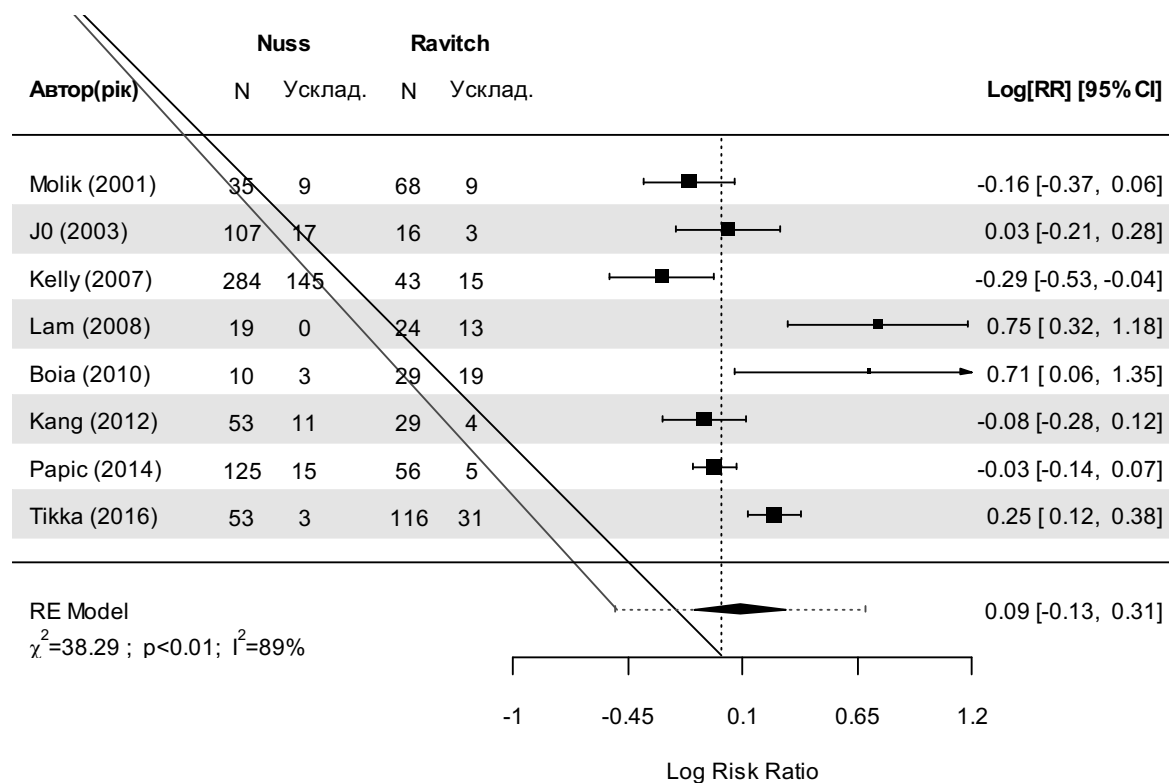


Рис. 3.1. Лісова діаграма відносного ризику виникнення ускладнень при лікуванні *pectus excavatum* за методами Насса та Равіча

За даними представленого мета-аналізу відносного ризику (RR) виникнення ускладнень при операціях Насса та Равіча можна довести, що з удосконаленням методики малоінвазивного підходу лікуванні РЕ, ризик виникнення ускладнень зменшується, а за останніми роботами (Tikka T, 2016)

ризик ускладнень за Равіча більше, ніж за Нассом. Узагальнена оцінка RR за обома методами становить 0,09 [-0.13; 0.31], що свідчить про відсутність різниці між ними. Значення $I^2 = 89\%$ вказує на дуже високий рівень мінливості між результатами досліджень. Це може свідчити про значну неоднорідність даних, що означає, що результати досліджень суттєво різняться між собою. Це підтверджується і високим та значущим ($p < 0.01$) значенням $\chi^2 = 38.26$. Причину таких результатів ми вказували раніше.

Аналіз ранніх ускладнень. Кількісні дані ранніх ускладнень наведені в табл. 3.2, діаграма відносних ризиків їх розвитку наведена на рис. 3.2.

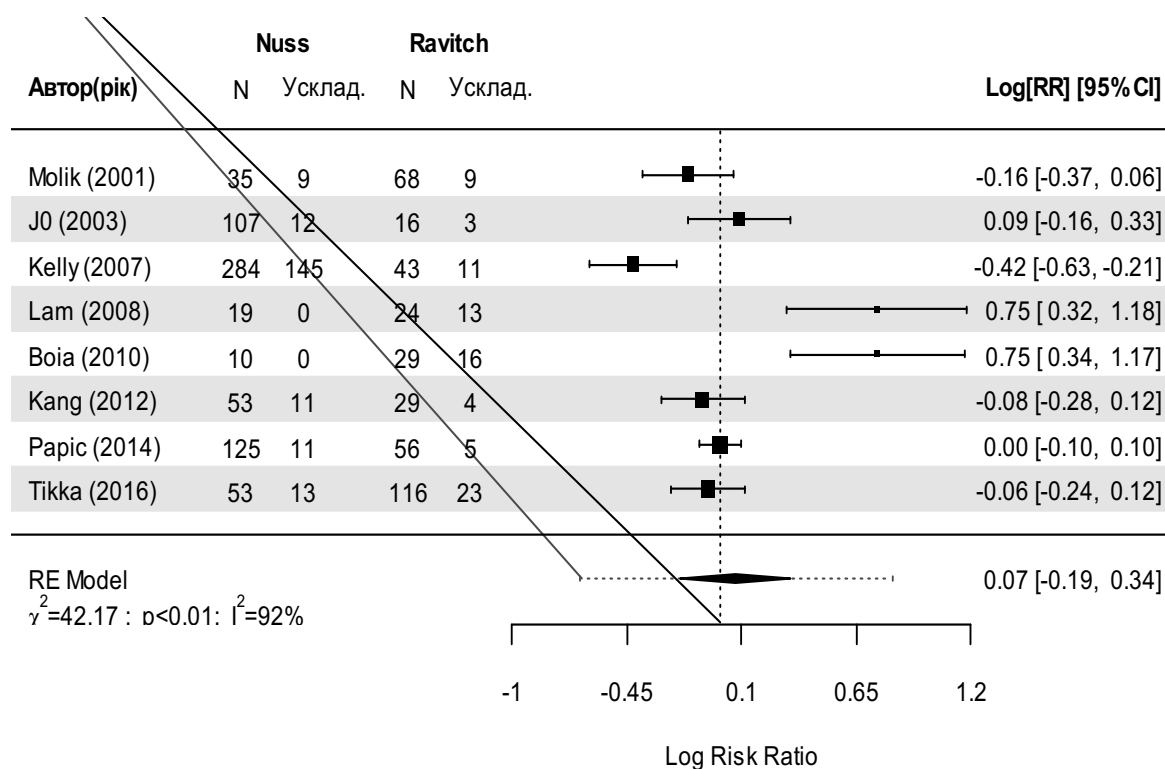


Рис. 3.2. Лісова діаграма відносного ризику виникнення ранніх ускладнень при лікуванні rectus excavatum за методами Насса та Равіча

Динаміка ризиків розвитку ранніх ускладнень (рис. 3.2) схожа з попередньою діаграмою (рис. 3.1), отже сумарний відносний ризик ускладнень становить 0.77 [-0.19; 0.34], що свідчить про відсутність різниці. Але також

великі значення $I^2 = 92\%$ та $\chi^2=42.17$, свідчать про значну різницю представлених даних в дослідженнях.

Ризик віддалених ускладнень. За даними аналізу пізніх ускладнень (табл. 3.2, рис. 3.3) можна довести, що їх розвиток майже однаковий при обох методах лікування $\log RR=0.01$ $[-0.04; 0.02]$, а індекс $I^2 = 0\%$ та $\chi^2=5.10$ при $p=0.65$, свідчать про низку мінливість даних в дослідженнях. Тобто можна казати, що ймовірність розвитку пізніх ускладнень в обох групах майже однакова.

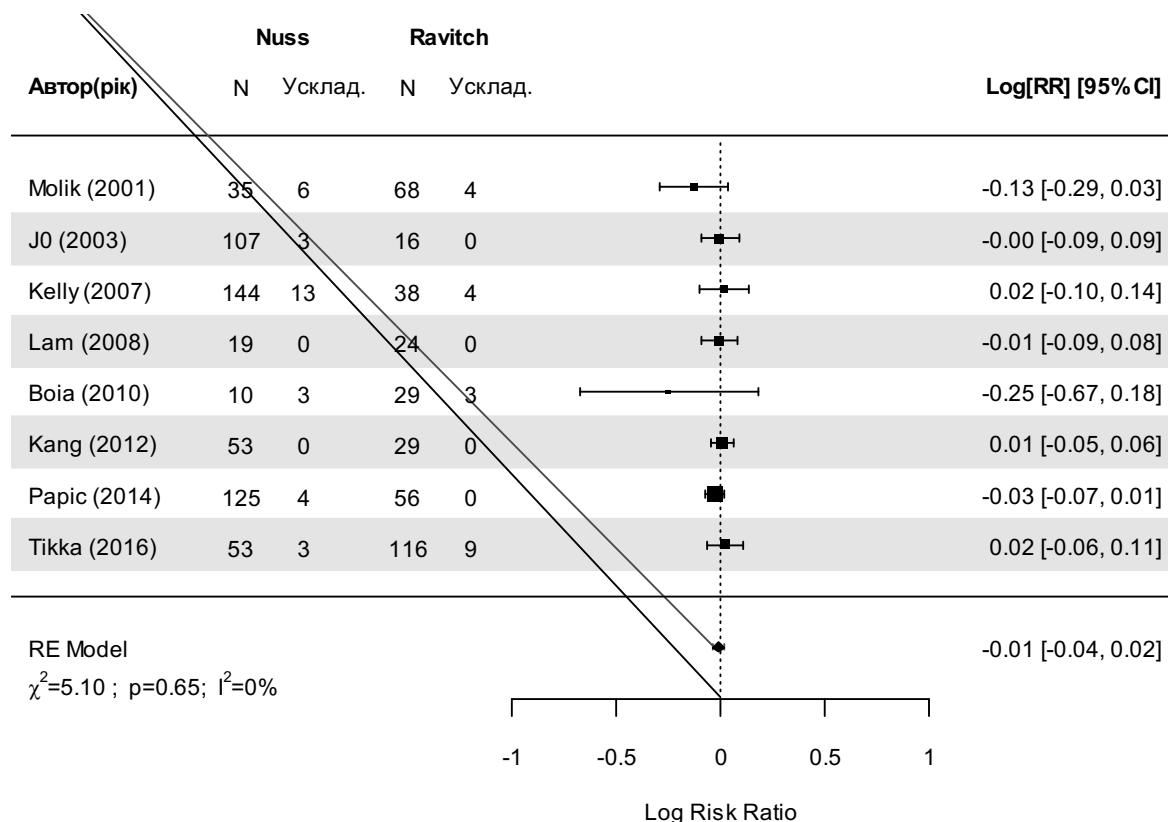


Рис. 3.3. Лісова діаграма відносного ризику виникнення ускладнень у віддаленому періоді при лікуванні *rectus excavatum* за методами Насса та Равіча

Аналіз ризику зміщення (руйнування) конструкції або її елементів.

Далі проаналізуємо дані, щодо ризику виходу з ладу конструкцій, які встановлюються при операціях (табл. 3.2, рис. 3.4). Як показав аналіз, дослідження мають значну неоднорідність, щодо даних ($I^2 = 73\%$ та $\chi^2=21.15$, $p<0.01$), але узагальнення оцінка відношення ризику показує, що ризик зміщення конструкції в обох групах однаковий.

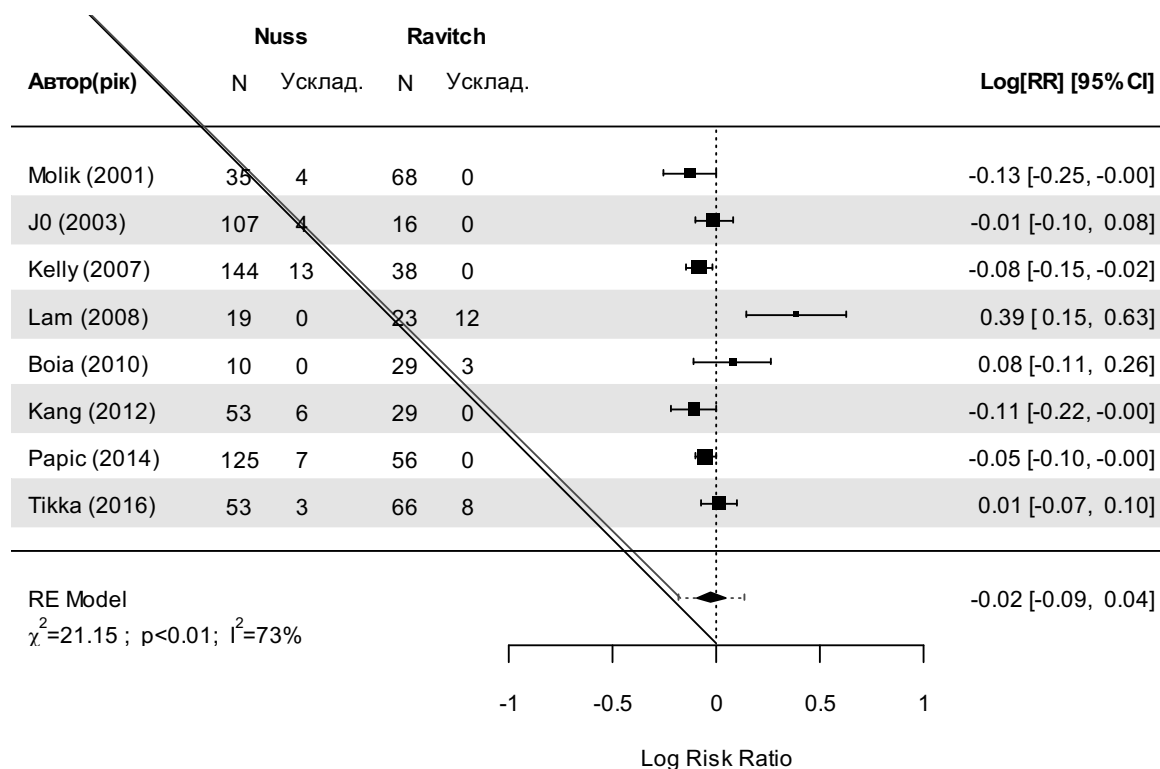


Рис. 3.4. Лісова діаграма відносного ризику зміщення (руйнування) конструкції та при лікуванні *rectus excavatum* за методами Насса та Равіча

Аналіз ризику повторних операцій, пов'язаних з рецидивом деформації та передчасного видалення конструкції через розвиток важких ускладнень.

За даними табл. 3.2 побудована лісова діаграма (рис. 3.5) відносних ризиків повторних втручань.

За даними, представленими на діаграмі (рис. 3.5) можна спостерігати стійку динаміку зменшення повторних операцій з часом. Даний аналіз показує практичну відсутність різниці у ризику повторних операцій через зміщення конструкції або ускладнення $RR=0.02$ $[-0.03; 0.056]$. Але знову високий коефіцієнт $I^2 = 66\%$ ми не можемо однозначно інтерпретувати результати щодо ризику реоперацій.

Не зважаючи на те, що операції з реконструкції лікоподібної деформації груднини за Равічем проводять вже більше п'ятидесяти років, за Нассом – більше тридцяти, дослідники до сьогодні ще не визначилися яка ж них більш ефективніша.

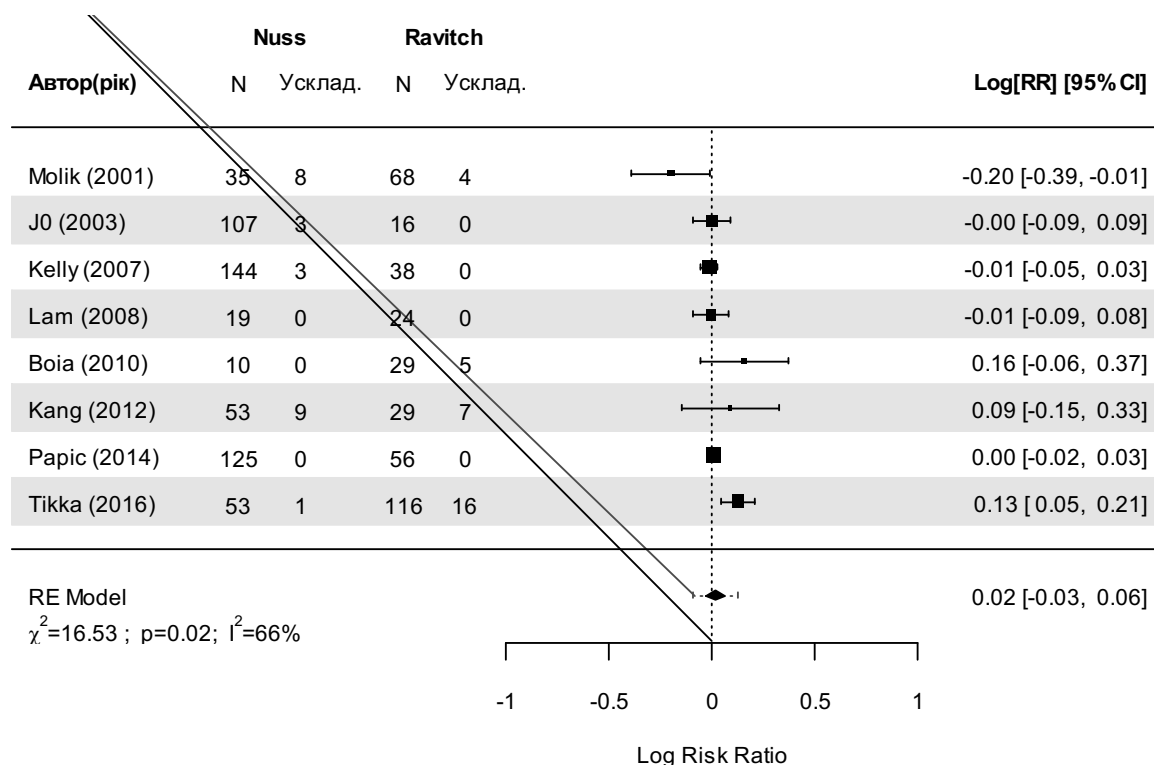


Рис. 3.5. Лісова діаграма відносного ризику повторних операцій при лікуванні *pectus excavatum* за методами Насса і Равіча.

Методики Насса і Равіча для відновлення *pectus excavatum* продовжують використовуватись і сьогодні, хоча процедура Насса в останні роки більш розповсюджена, а процедура Равіча продовжується виконуватися в складних випадках поєднаних втручань - одночасні виконання операцій на серці, легенях, хребті та у дорослих пацієнтів.

Спеціалізація медичних установ, як правило, сконцентрована на виконанні одного типу втручання, різні рекомендації щодо вибору хірургічного лікування і відповідно кардинально різні первинні стани пацієнтів, значно ускладнює порівняння цих методик. У дослідження, зазвичай представлена невелика кількість пацієнтів, що також впливає на складність проведення кластеризації та рандомізації матеріалу досліджень. Спроба вибрати з доволі значної кількості робіт, які порівнювали методики операції у дітей та підлітків, призвела до того що з аналізу були вилучені роботи, в яких були поєднані пацієнти від 5 до 30, 50

і більше років. І хоча вказувалися групи за віком, результати ускладнень та інших показників давалися загальною по групах. Наразі немає рандомізованих досліджень, які б порівнювали ці процедури саме у дітей та підлітків. Найбільш повний метааналіз Kanagaratnam A. із співавт. [66] дає дані, які порівнюють низку ускладнень у пацієнтів різних вікових груп. Ми взяли за основу цей метааналіз, але доповнили його 4 роботами, які не увійшли у даний метааналіз, а саме роботами Kelly R.E. Jr. [69], яка є продовженням роботи 2003 року та надає аналіз пізніх ускладнень, Tikka T. [131] та Voia E.S. [27], які не увійшли в метааналіз Kanagaratnam A.

Отримані нами результати свідчать про те, що немає різниці в загальній частоті ускладнень між процедурами Насса і Равіча при розгляді педіатричної популяції, щодо загальних, ранніх і пізніх ускладнень.

Якщо в роботах до 2010 року (табл. 3.2) загальна кількість ускладнень операції Насса була вище, то у подальших роботах вона знижується. Як вказує в своїй роботі Molik K.A. et al. [93] більшість ускладнень методики Насса припадає на перші 4 пацієнта, головним з яких було ротація або зміщення пластини, але після використання стабілізуючих пристроїв випадків зміщення конструкції не було.

У своїй роботі Tikka T. зі співавт. [131] розглядає досвід 20-річної роботи використання обох видів операції. Метод Насса, як пишуть автори почали використовувати з 2008 року, коли метод був вже добре апробований та удосконалений, і це дало помітно менше ускладнень, ніж операція Равіча.

Існує неоднорідність процедурної техніки, навіть всередині груп. Наприклад до методики Равіча вносяться модифікації, як з використанням пластин та/або конструкції для фіксації, так і без додаткової фіксації. Про різницю методів вказали тільки автори двох робіт Lam W.C. [78] та Tikka T. [131]. У процедурі Насса є варіанти з одним або двома доступами, торакоскопією, що також може вплинути на результати, але про такі нюанси автори не повідомляли.

Це одним вагомим недоліком практично всіх робіт, які порівнюють методи Насса і Равіча, це відсутність зв'язку між важкістю деформації та кількістю ускладнень, а у більшості робіт взагалі, не вказували ступінь деформації (табл. 3.1). Відбір пацієнтів може сприяти упередженості, наприклад, пацієнтам з сильно асиметричним *pectus excavatum*, частіше надають перевагу методиці Равіча.

В роботі ми не змогли порівняти результати операцій через те, що результат задоволення пацієнтів оцінювався за різними показниками та шкалами, а по-друге, не вказували саме величину остаточної деформації.

Перспективи подальших досліджень. За аналізом літератури, який був проведений на початку нашого дослідження, після 2018 року роботи, які аналізують операцію Равіча присвячені виключно лікуванню дорослих пацієнтів, або рідким складним випадкам, пов'язаним з реопераціями або одночасним втручанням на серці, легенях з приводу різних патологічних станів.

Операція Насса набуває все більше поширення, як в лікуванні дітей, так і дорослих. На сьогодні існує декілька модифікацій як самої операції, способів фіксації пластин, їх кількості та способів встановлення та розташування, так і підходів до анестезії та післяопераційного ведення пацієнтів, що значно розширює коло її використання. Але незважаючи на поширення малоінвазивного підходу, все ж до сьогодні дискутується питання ефективності тої чи іншої модифікації. Будь-яке питання з наведених може бути предметом наступних досліджень.

Висновки.

За результатами проведеного аналізу, беручи до уваги кількість ранніх та пізніх ускладнень, не можна остаточно визначити перевагу будь-якого хірургічного методу для корекції лійкоподібної деформації грудної клітки.

Кількість операції за Насса з роками зростає, це означає, що малоінвазивний підхід є методом вибору для пацієнтів та хірургів, хоч залишаються питання досягнення стабільності конструкції та способі корекції за

Нассом при важких формах деформацій. Відсутність остаточних висновків більше пов'язана з методологічними проблемами аналізованих даних, серед яких обмежена кількість спостережень та велика різниця у групах спостереження, відсутність стандарту подання даних стосовно опису стану пацієнта (величини та типу деформації, первинних ускладнень з боку серцевої та дихальної систем, наявності ускладнюючих факторів), відсутність стандартизованого підходу до оцінки задоволеності пацієнтів результатами лікування, відсутність даних, щодо модифікації оперативного втручання.

Кількість ускладнень говорить про те що відсутня методологія вибору фіксаторів та тактики проведення хірургічної корекції лійкоподібної деформації за Нассом. Тому основним завданням нашого дослідження є визначити роль і місце кожного методу проведення фіксаторів в хірургічній корекції ЛДГК.

За матеріалами розділу опубліковано:

[7] Карпінська О.Д., Левицький А.Ф., Пилипко В.М. Метааналіз процедур Ravitch та Nuss для лікування лійкоподібної деформації грудної клітки у дітей та підлітків. Ортопедія, травматологія та протезування. 2024. 1: 63-71. DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-598720241>

РОЗДІЛ 4

БІОМЕХАНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНІСТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГРУДИННО-РЕБЕРНОГО КОМПЛЕКСУ ТА МЕТАЛЕВИХ ПЛАСТИНАХ ПРИ МАЛОІНВАЗИВНІЙ КОРЕКЦІЇ ЛІЙКОПОДІБНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ГРУДНОЇ КЛІТКИ

4.1. Експериментальні дослідження величини прогину пластини для корекції лійкоподібної деформації грудної клітки під впливом згинаючого навантаження

До початку експерименту були проведені теоретичні розрахунки величини прогину пластини при різних значеннях величини згинаючого навантаження. Для розрахунків використовували розрахункову схему, наведену на рис. 2.1.

Для обраної розрахункової схеми величина стріли прогину визначається формулою [18]:

$$f = \frac{Pl^3}{192EJ}, \quad (4.1)$$

де P – величина згинаючої сили;

E – модуль пружності матеріалу;

l – довжина пластини;

J – момент інерції пластини.

Для пластини прямокутного профілю момент інерції визначається формулою [18]:

$$J = \frac{bh^3}{12}, \quad (4.2)$$

де b – ширина пластини;

h – висота пластини.

В якості вихідних даних для розрахунку були обрані такі:

$l=280$ мм

$b=15$ мм

$h=2,5$ мм

$E=110$ ГПа (обрано за даними фірми ChM та стандартів ISO [20]).

Визначимо величину моменту інерції для обраних пластин, для чого переведемо величини геометричних параметрів пластини в метри:

$$J = \frac{0,015 \cdot 0,0025^3}{12} = 1,95 \cdot 10^{-11}, \quad (4.3)$$

Підставив отримане значення моменту інерції в рівняння (1), та задавшись значеннями величини згинаючої сили Р, були визначені величини стріли прогину для одної пластини.

Для розрахунку здвоєної пластини необхідно значення її ширини збільшити вдвічі, тобто:

$$b=30 \text{ мм.}$$

Тоді значення моменту інерції набуває нового значення:

$$J = \frac{0,03 \cdot 0,025^3}{12} = 3,91 \cdot 10^{-11}, \quad (4.4)$$

Величину прогину здвоєної пластини визначимо, підставив значення моменту інерції з рівняння (4.4) до рівняння.

Дані розрахунків величин прогину як одиночної, так і подвійної пластин, в залежності від прикладеного навантаження, наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Значення величини прогину пластини в залежності від величини прикладеного навантаження.

Навантаження, Н	Прогин, мм	
	одинарна пластина	здвоєна пластина
50	1,68	0,84
100	3,35	1,68
150	5,03	2,51
200	6,70	3,35
250	8,38	4,19
300	10,05	5,03
350	11,73	5,86
400	13,41	6,70
450	15,08	7,54
500	16,76	8,38
550	18,43	9,22
600	20,11	10,05

Другим етапом роботи були проведені експериментальні дослідження величини прогину пластин для корекції деформації груднини під впливом згинаючого навантаження. Дані про результати експериментальних досліджень одинарних пластин наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Результати експериментальних досліджень величини прогину одинарних пластин для корекції деформації груднини під впливом згинаючого навантаження.

Навантаження, Н	Прогин, мм		Одновибірковий t-тест
	розрахунок	експеримент	
50	1,68	1,70±0,11 1,55÷1,86	t=0,402 p=0,704
100	3,35	3,58±0,30 3,21÷3,94	t=1,878 p=0,119
150	5,03	5,16±0,73 4,31÷5,92	t=0,431 p=0,685
200	6,70	6,42±0,40 6,00÷7,07	t=2,154 p=0,084
250	8,38	8,62±0,95 7,47÷9,94	t=0,629 p=0,557
300	10,05	10,21±1,26 8,73÷11,87	t=0,302 p=0,774

Результати експериментальних досліджень одинарних пластин для корекції деформацій груднини на згин показали, що відхилення величин прогину статистично значуще ($p > 0,05$) не відрізняється від розрахункових показників на всьому діапазоні згинаючих навантажень.

Наочне уявлення про співвідношення розрахункових та отриманих в експерименті величин прогину одинарних пластин для корекції деформацій груднини можна за допомогою графіку, який наведено на рис. 4.1.

На приведеному графіку видно, що відхилення від розрахункових значень показників прогину зразків пластин, які були випробувані на згин, визначилось незначне, хоча і має тенденцію до збільшення при підвищенні величини навантаження.

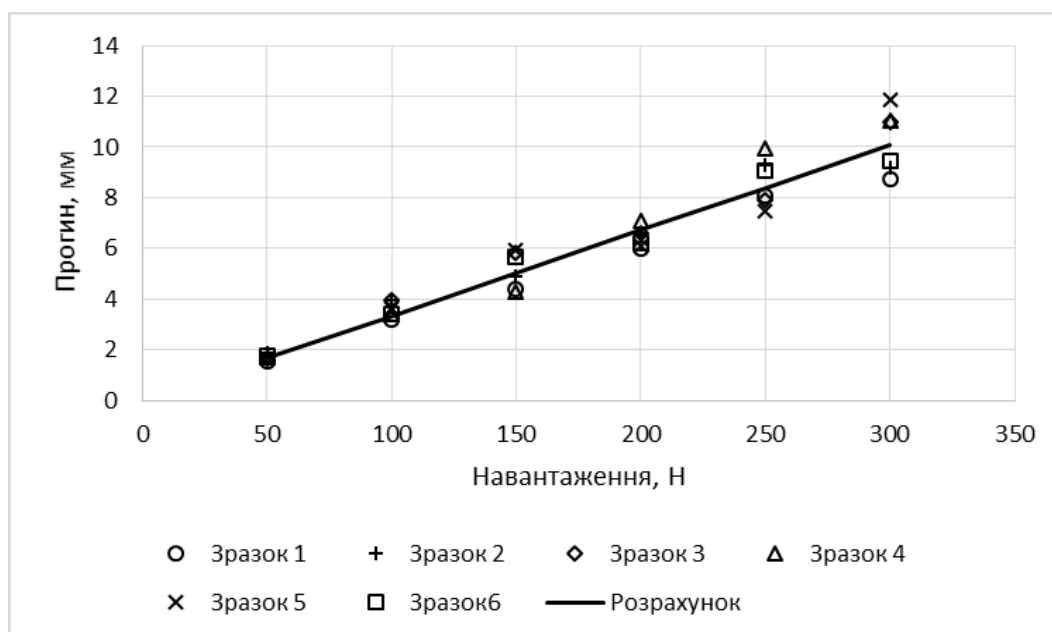


Рис. 4.1. Графік залежності величини прогину одинарних пластин від величини навантаження за даними розрахунку та експерименту.

В табл. 4.3 наведено дані про результати експериментальних досліджень величини прогину здвоєних пластин для корекції деформації груднини під впливом згинаючого навантаження.

Таблиця 4.3

Результати експериментальних досліджень величини прогину здвоєних пластин для корекції деформації груднини під впливом згинаючого навантаження.

Навантаження, Н	Прогин, мм		Одновибірковий t-тест
	розрахунок	експеримент	
50	0,84	1,08±0,59 / 0,54÷1,71	t=0,716; p=0,548
100	1,68	1,78±0,56 / 1,26÷2,38	t=2,379; p=0,140
150	2,51	2,84±0,77 / 2,17÷3,68	t=1,899; p=0,198
200	3,35	3,26±0,26 / 3,09÷3,56	t=1,680; p=0,235
250	4,19	4,44±0,09 / 4,34÷4,50	t=8,924; p=0,012
300	5,03	4,91±0,43 / 4,42÷5,20	t=-0,354; p=0,757
350	5,86	6,07±0,65 / 5,52÷6,78	t=2,847; p=0,104
400	6,70	6,51±0,70 / 5,76÷7,13	t=1,276; p=0,330
450	7,54	7,82±1,65 / 6,82÷9,73	t=0,862; p=0,479
500	8,38	8,24±2,25 / 6,08÷10,58	t=0,181; p=0,873
550	9,22	9,37±0,41 / 8,91÷9,70	t=1,555; p=0,260
600	10,05	10,05±1,98 / 7,99÷11,94	t=0,046; p=0,967

Проведені дослідження на згин здвоєних пластин для корекції деформацій груднини, також не виявили статистично значущих ($p > 0,05$) відмінностей величин прогину зразків, отриманих в експерименті, від розрахованих показників.

Графік, який наведено на рис. 4.2, дає можливість наочного порівняння залежності величини прогину здвоєних пластин від величини згинаючого навантаження за даними розрахунку та експерименту.

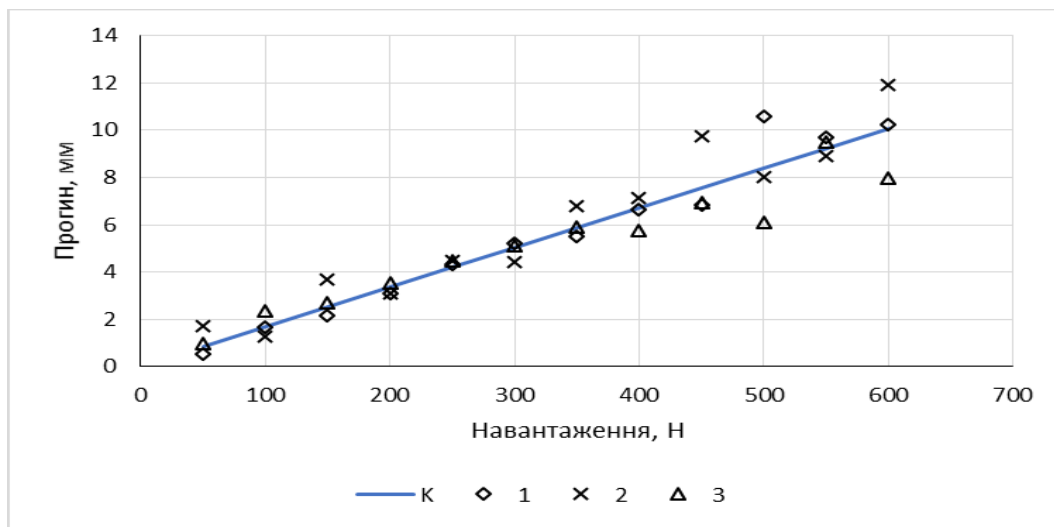


Рис. 4.2. Графік залежності величини прогину здвоєних пластин від величини навантаження за даними розрахунку та експерименту.

Незважаючи на збільшення розкиду показників прогину здвоєних зразків пластин при високих навантаженнях, за середніми значеннями різниця з розрахунковими показниками не набула статистичної значущості.

Графік, який наведено на рис. 4.3, відображає зміни середніх показників величин прогину одинарних та здвоєних пластин для корекції деформації груднини від величини прикладеного згинаючого навантаження.

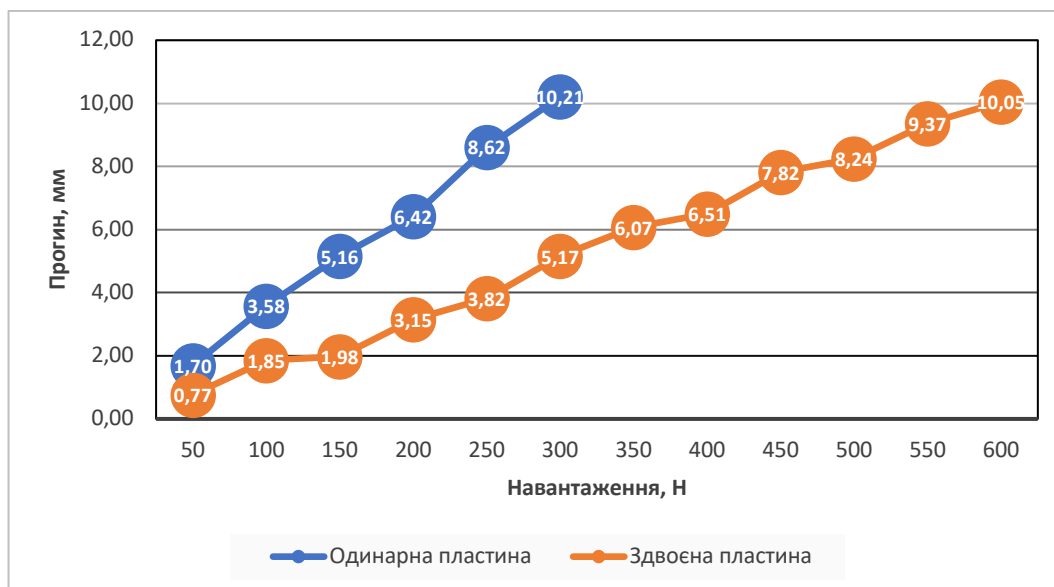


Рис. 4.3. Графік зміни середніх величин погину одинарних та здвоєних пластин в залежності від величини навантаження.

Доцільно припустити, що пластина діє на грудину саме з тою силою, яка потрібна для її згинання на необхідну величину. Так, як проведений експеримент визначив відсутність статистично значущих відмінностей між розрахунковими та експериментальними даними, визначимо, з якою силою буде впливати одинарна та здвоєна пластина на грудину при корекції деформації певної величини. Для вирішення даного завдання виконаємо перетворення формули (4.1), яка буде мати такий вид:

$$P = \frac{192fEJ}{l^3}, \quad (4.5)$$

Тепер, якщо ми задаймо величини деформації f , і підставимо відповідні значення моменту інерції для одинарної та здвоєної пластин, то отримаємо значення величини сили, з якою ці пластини будуть впливати на грудину при виконанні її корекції. Дані про величини коригуючої сили в залежності від величини деформації груднини наведено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Величини сили, з якою одинарна та здвоєна платини будуть впливати на грудину при корекції її деформацій різної величини.

Деформація груднини, мм	Коригуюча сила, Н	
	одинарна пластина	здвоєна пластина
2	59,7	119,4
3	89,5	179,0
4	119,4	238,7
5	149,2	298,4
6	179,0	358,1
7	208,9	417,8
8	238,7	477,4
9	268,6	537,1
10	298,4	596,8
11	328,2	656,5
12	358,1	716,1

Для наочного та зручнішого визначення величини сили, з якою коригуючі пластини діють на грудину в залежності від величини її деформації, було побудовано графік, який наведено на рис.4.4.

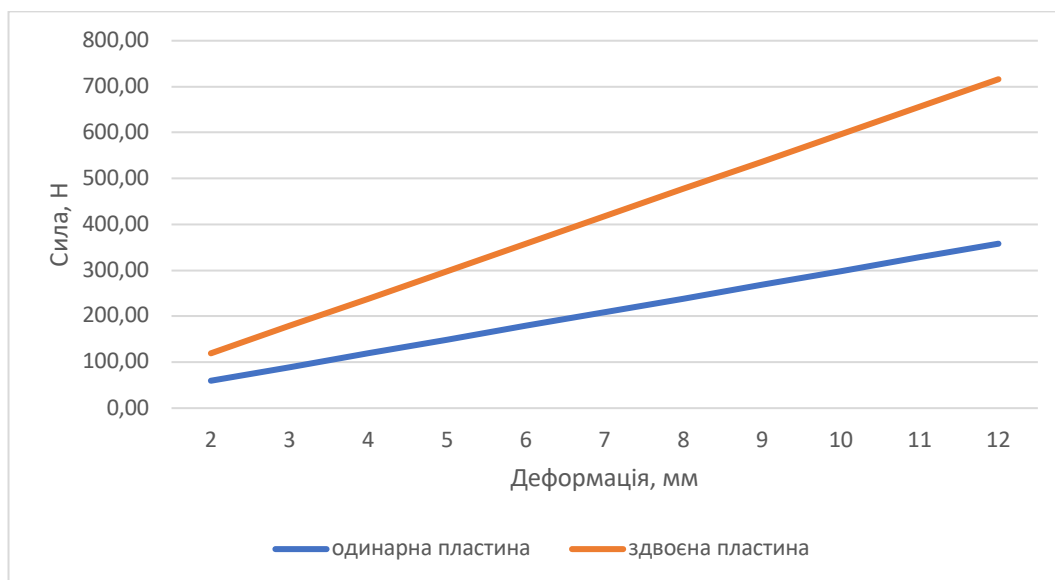


Рис. 4.4. Графік залежності величини коригуючої сили від величини деформації груднини, яку необхідно скоригувати.

Результати проведеного дослідження дозволили розробити методику розрахунку величини сили, з якою пластина діє на грудину при корекції її деформації. Отримані дані можуть бути корисні для вибору розміру коригуючої пластини, способу її кріплення до ребер [110], моделюванні варіантів накладання пластин для корекції різних деформацій груднини методом скінчених елементів.

Заключення по розділу.

1. Розроблена методика визначення величини сили, з якою пластина впливає на грудину при корекції деформації певної величини.
2. Підтверджено, що розрахункові дані про величини прогину пластини під впливом згинаючого навантаження, і дані отримані в експерименті, статистично значуще не відрізняються одні від одного.
3. Отримані дані можуть бути корисні для вибору розміру коригуючої пластини, способу її кріплення до ребер, та вибору варіантів накладання пластин для корекції різних деформацій грудної клітки. Для визначення взаємодії фіксаторів з елементами грудинно-реберного комплексу необхідно провести моделювання методом скінчених елементів.

4.2 Математичне моделювання напружено-деформованого стану моделі грудної клітки при різних варіантах накладання пластин для корекції її лійкоподібної деформації

4.2.1 Дослідження розподілу напружень в моделях при різних варіантах корекції лійкоподібної деформації грудної клітки

Першим етапом роботи моделювали схему корекції лійкоподібної деформації грудної клітки з використанням одної короткої пластини. Напружено-деформований стан моделі наведено на рис. 4.5.

В результаті проведеного моделювання визначено, що при використанні короткої пластини для корекції лійкоподібної деформації груднини найбільші за величиною напруження 22,0 МПа виникають саме в грудині.

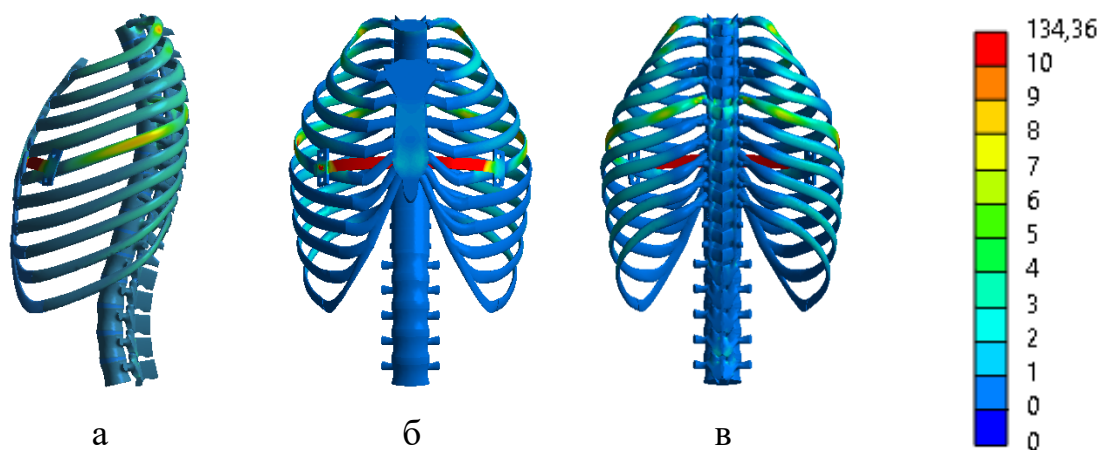


Рис. 4.5. Розподіл напружень в моделі грудної клітки з корекцією лійкоподібної деформації короткою пластиною:

а) вид в сагітальній площині; б) вид спереду; в) вид ззаду.

Серед ребер самими навантаженими визначаються п'яті, де напруження сягають позначки 11,4 МПа. Це є наслідком того, що кінці пластини опираються саме на ці ребра. Також, високий рівень напружень 8,2 МПа спостерігається на перших ребрах. На цей показники не слід звертати увагу, тому що це обумовлено жорстким закріпленням хребця С1, тобто умовами моделювання, а не схемою корекції груднини. Надалі рівень напружень знижується досягаючи мінімуму на третьому ребрі 2,5 МПа, і трохи підвищується до 3,4 МПа на четвертому. На ребрах нижче пластини напруження є майже однаковими і визначаються в межах від 2,2 МПа до 2,8 МПа. Напруження на пластині сягають позначки 50,1 МПа.

Розглянемо, які зміни в напружено-деформованому стані моделі відбуваються при використанні однієї довгої пластини. Картину розподілу напружень в моделі наведено на рис. 4.6. Використання довгої пластини приводить до зниження величини напружень в груднині вдвічі до позначки 11,2 МПа, а також зміщує максимальний рівень напружень на шості ребра, де вони визначаються на рівні 10,7 МПа, що також нижчі за схему корекції короткою пластиною. Це викликано тим, що точка опори кінців пластини переміщується саме на шості ребра. На всіх інших ребрах, також спостерігається зниження рівня напружень. На самої пластині напруження теж знижуються і визначаються на позначці 42,7 МПа.

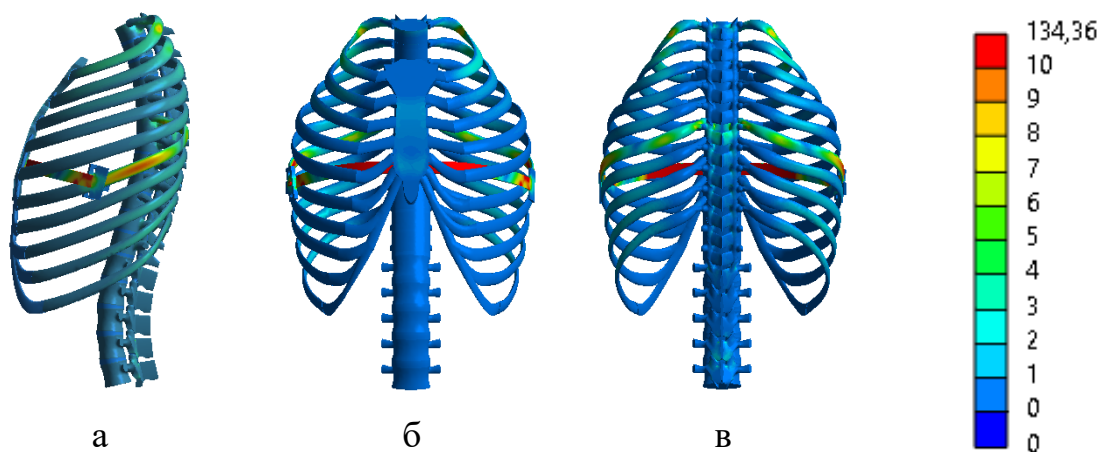


Рис. 4.6. Розподіл напружень в моделі грудної клітки з корекцією ЛДГК довгою пластиною:

а) вид в сагітальній площині; б) вид спереду; в) вид ззаду.

Наступним етапом роботи вивчали напружено-деформований стан моделей зі схемою корекції лійкоподібної деформації грудної клітки за допомогою короткого фіксатора по типу «Міст». Розподіл напружень в моделі з двома короткими пластинами наведено на рис. 4.7.

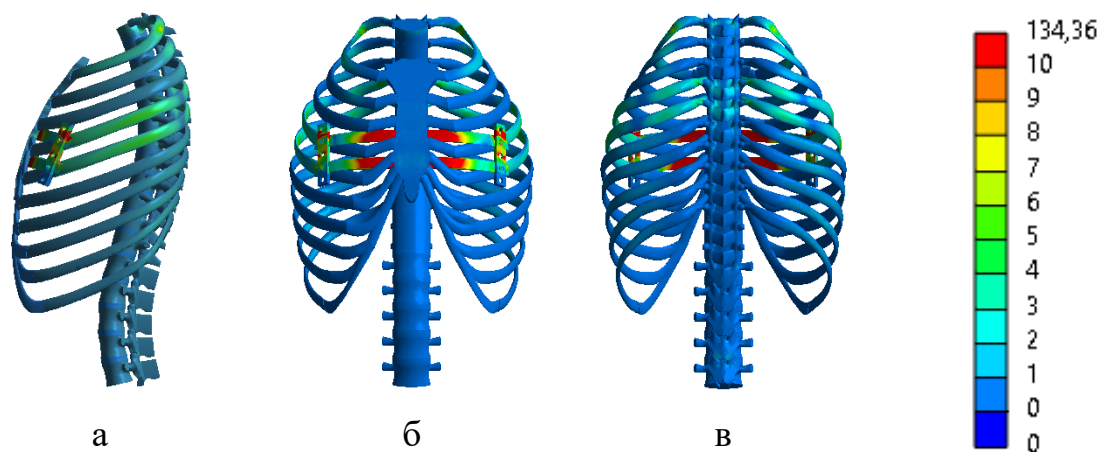


Рис. 4.7. Розподіл напружень в моделі грудної клітки з корекцією лійкоподібної деформації грудної клітки коротким фіксатором по типу «Міст»:

а) вид в сагітальній площині; б) вид спереду; в) вид ззаду.

При використанні схеми корекції ЛДГК коротким фіксатором по типу «Міст» спостерігається зниження рівня напружень на всіх елементах моделі в порівнянні з моделлю з однієї короткою пластиною. Саме значне зниження

визначається на грудині, де максимальний рівень напружень визначається на позначці 3,8 МПа. Напруження на п'ятому та шостому ребрах, на які спираються кінці пластин, визначаються на позначках 7,3 МПа та 7,0 МПа, відповідно. Також, значне зниження напружень спостерігається на пластинах, де вони не перевищують позначок 25,0 МПа та 27,0 МПа на верхній та нижній пластинах відповідно.

На рис. 4.8 відображено напружено-деформований стан моделі з корекцією лійкоподібної деформації грудної клітки з використанням довгого фіксатору по типу «Міст»:

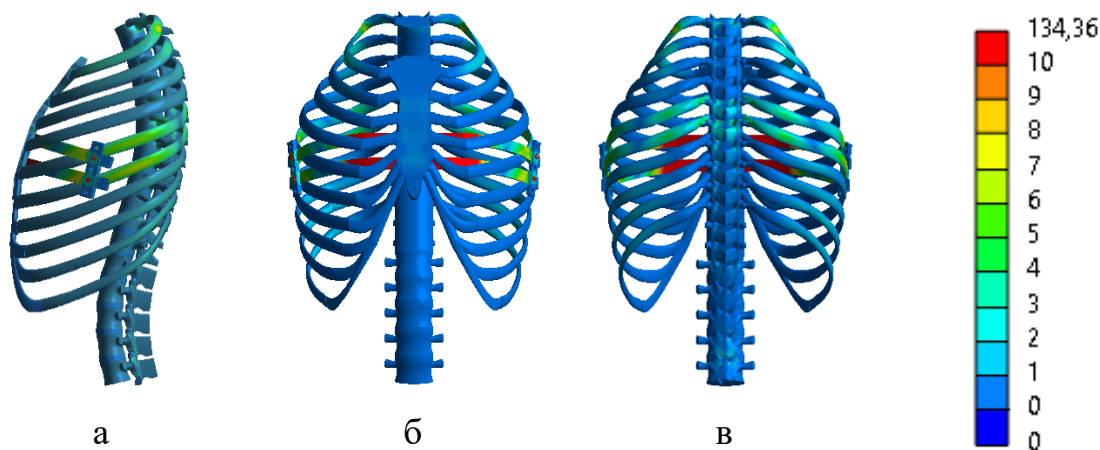


Рис. 4.8. Розподіл напружень в моделі грудної клітки з корекцією лійкоподібної деформації грудної клітки довгим фіксатором по типу «Міст»:
а) вид в сагітальній площині; б) вид спереду; в) вид ззаду.

Проведені дослідження показали, що збільшення довжини пластин та зміна точок проведення фіксатору латерально дозволяє ще знизити рівень напружень на всіх елементах моделі, але ці зміни не такі помітні, як при подовженні одинарної пластини.

Розглянемо, як відбувається розподіл напружень в моделі грудної клітки при корекції лійкоподібної деформації з використанням хрестоподібної схеми розташування пластин. Картину розподілу напружень в моделі наведено на рис. 4.9.

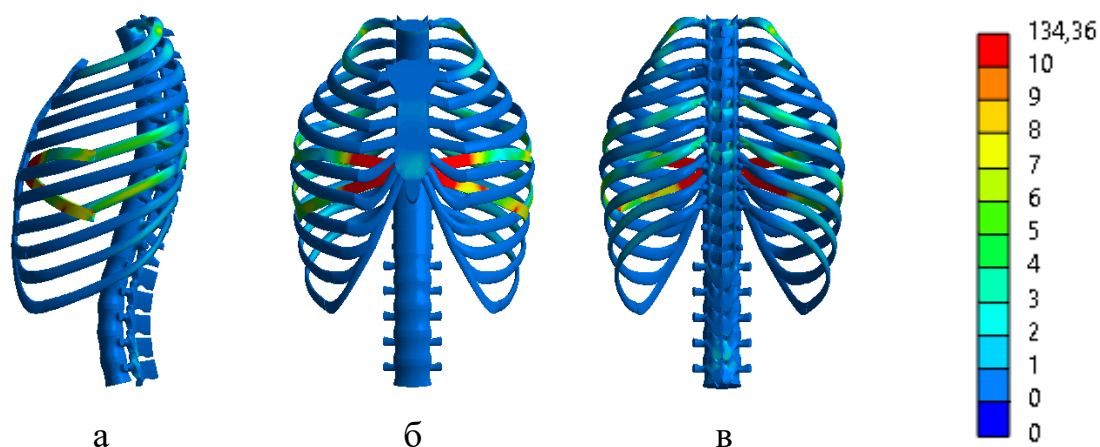


Рис. 4.9. Розподіл напружень в моделі грудної клітки з корекцією лійкоподібної деформації двома пластинами розташованими навхрест:
а) вид в сагітальній площині; б) вид спереду; в) вид ззаду.

При використанні схрещеного методу розташування пластин для корекції лійкоподібної деформації грудної клітки максимальний рівень напружень 7,3 МПа та 9,0 МПа виникає, відповідно, в п'ятому та сьомому ребрах, на які спираються пластини. В інших ребрах напруження спостерігаються в межах від 0,8 МПа до 2,6 МПа, що трохи нижче за модель з паралельним розташування пластин. Рівень напружень в грудині 1,7 МПа також нижчий за модель з паралельним методом розташування пластин. Але самі пластини виявляються більш напруженими – 39,3 МПа та 37,2 МПа на нижній та верхній пластинах, відповідно.

Дані про величини напружень в елементах моделей в залежності від схеми корекції лійкоподібної деформації грудної клітки наведені в табл. 4.5.

Наочне уявлення про співвідношення величин максимальних напружень в кісткових елементах моделей в залежності від схеми корекції лійкоподібної деформації грудної клітки можна отримати за допомогою діаграми, яка наведена на рис. 4.10.

Таблиця 4.5

Величини напружень в елементах моделей при різних схемах корекції
ліycopодібної деформації грудної клітки

Контрольні точки		Напруження, МПа				
№	елемент моделі	коротка пластина	довга пластина	короткий фіксатор по типу «Міст»	довгий фіксатор по типу «Міст»	пластини навхрест
1	ребро 1	8,2	7,8	6,9	6,6	7,5
2	ребро 2	4,0	3,5	2,7	2,5	2,6
3	ребро 3	2,5	1,9	1,4	1,4	1,3
4	ребро 4	3,4	1,2	5,5	1,0	0,8
5	ребро 5	11,4	1,8	7,3	6,0	7,3
6	ребро 6	2,2	10,7	7,0	1,3	1,1
7	ребро 7	2,8	2,2	1,7	1,5	9,0
8	ребро 8	2,4	1,7	1,5	1,3	1,5
9	ребро 9	2,6	2,2	1,5	1,5	2,0
10	ребро 10	2,3	1,8	1,8	1,4	1,7
11	грудина	22,0	11,2	3,8	3,5	1,7
12	пластина нижня	50,1	42,7	27,0	24,4	39,3
13	пластина верхня			25,0	24,2	37,2

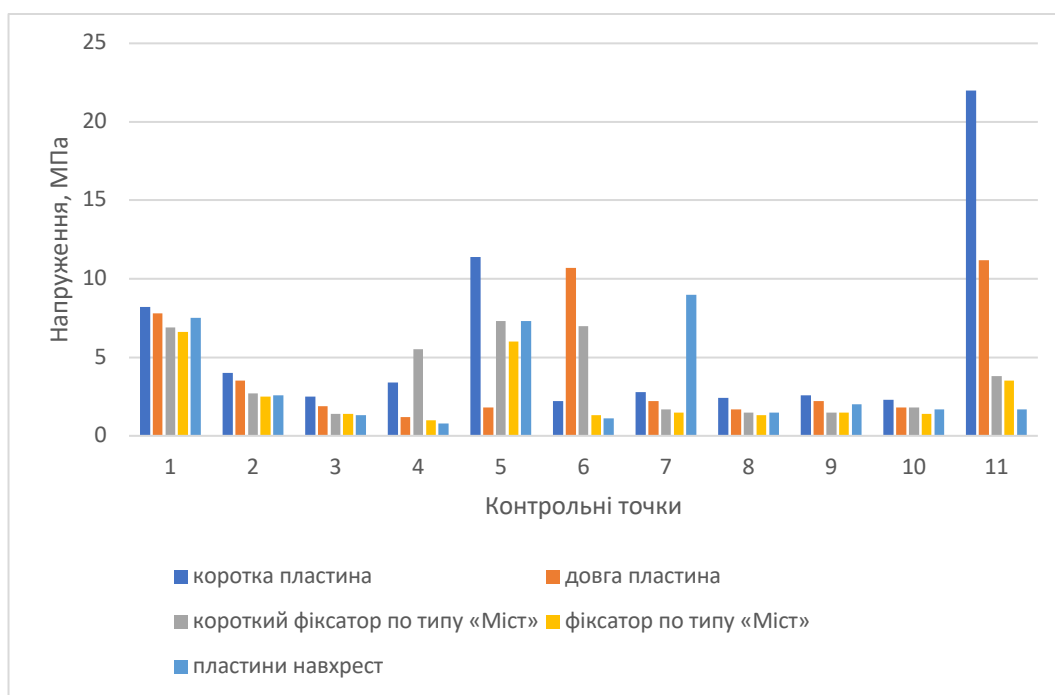


Рис. 4.10. Діаграма величин напружень в кісткових елементах моделей при різних схемах корекції ліycopодібної деформації грудної клітки.

Наведена діаграма наочно показує, що використання довгих пластин має переваги перед короткими, з точки зору зниження напружень в ребрах і грудині. Найзначніші зміни рівня напружень відбуваються саме в елементах, які контактують з металевими пластинами, а саме в грудині та в ребрах 5 і 6. Максимальні напруження виникають в ребрах, на які спираються пластини в залежності від схеми їх розташування. На великі напруження на перших ребрах не варто звертати уваги тому, що це не має відношення до схем корекції деформації грудної клітки, а пов'язане з обраною схемою навантаження моделі, коли навантаження прикладається безпосередньо до хребця до якого кріпляться перші ребра. Слід відмітити, що хрестоподібна схема розташування пластин вдвічі знижує рівень напружень в грудині, в порівнянні з паралельною схемою.

Діаграма, яка наведена на рис. 4.11, надає уявлення про співвідношення рівня напружень в металевих пластинах в залежності від схеми корекції лічкоподібної деформації грудної клітки.

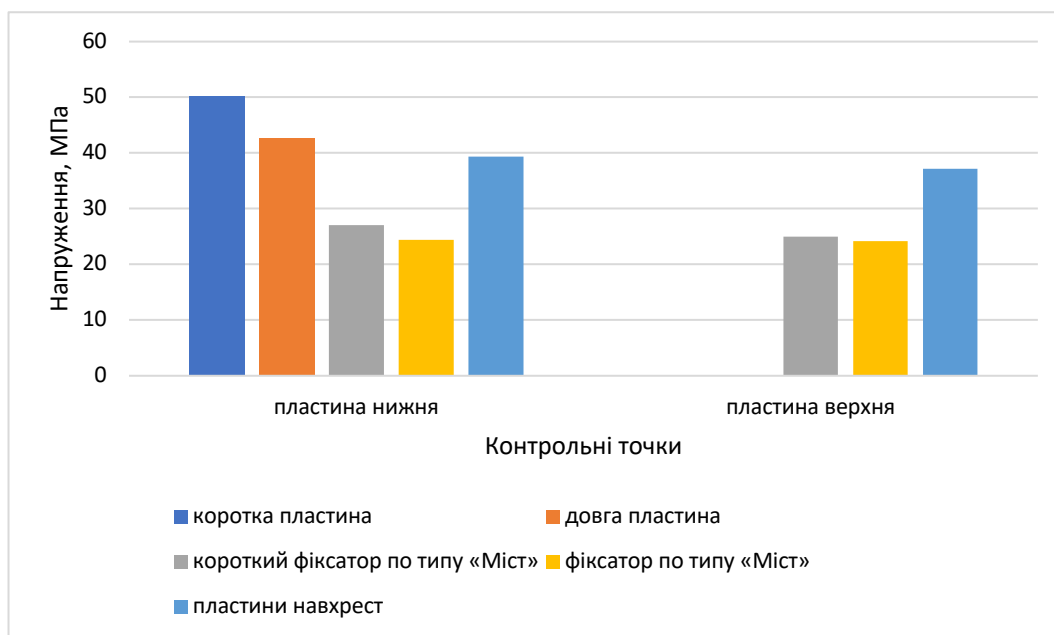


Рис. 4.11. Діаграма величин напружень в металевих елементах моделей при різних схемах корекції лічкоподібної деформації грудної клітки.

Як бачимо на діаграмі, збільшення довжини та кількості пластин, також веде до зниження рівня напружень в них. Деякі зниження рівня напружень в ребрах та грудині моделі з схрещеним розташуванням коригуючих пластин відбувається за рахунок підвищення рівня напружень в самих пластинах, що й відображено на діаграмі. Це пов'язано з тим, що обидві пластини контактують з грудиною в одній точці, що зменшує вдвічі площу контакту пластин з грудиною, в порівнянні з паралельною схемою розташування пластин.

Проведене дослідження надає можливість зробити заключення про те, що при використанні будь якої схеми корекції лійкоподібної деформації грудної клітки максимальний рівень напружень виникає в металевих пластинах так, як саме вони тримають на собі основні навантаження від передньої грудної стінки, яка намагається повернутись у вихідне положення після корекції. Та ж сама причина викликає найвищий рівень напружень серед елементів скелету саме в грудині. П'яті та шості ребра навантажуються через те, що пластини своїми кінцями спираються саме на них, що, в свою чергу, викликає в них підвищення рівня напружень. Використання довгих пластин веде до невеликого зниження величин напружень у всіх елементах моделі, скоріш за все, за рахунок більш рівномірного розподілу навантаження по довжині цих елементів. Використання двох паралельних пластин (фіксатору по типу «Міст») збільшує вдвічі площу контакту їх з кістковими структурами, наслідком чого є значне зниження напружень, як в самих пластинах, так і в елементах скелету.

З точки зору розподілу напружень в кісткових елементах моделі, схрещений метод розташування коригуючих пластин забезпечує трохи нижчий їх рівень практично у всіх кісткових елементах. Винятком можна враховувати сьомі ребра, де напруження, в даному випадку сягають позначки 9,0 МПа, що, згідно даним літератури [1], наближається до нижньої межі показників межі міцності ребер, які знаходиться в межах від 9,81 МПа до 39,0 МПа, в залежності від віку, статі, раціону харчування та ін. факторів. Все це, в деяких випадках, може стати причиною перелому ребра. З точки зору збереження корекції деформації

невелику перевагу в 1,0 мм має схрещений метод розташування коригуючих пластин. Але паралельна схема забезпечує меншу відносну деформацію реберних хрящів. Враховуючі все вищевикладене, можна зробити заключення про те, що жодна із досліджених схем не має однозначної переваги над іншою за критеріями механічних показників. Тому, при обранні тої або іншої схеми корекції лійкоподібної деформації груднини треба враховувати додаткову інформацію, як то форму деформації грудної клітки та ребер, зручність проведення пластин, вік пацієнта, тощо.

Висновки.

1. При використанні будь якої схеми корекції лійкоподібної деформації грудної клітки максимальний рівень напружень виникає в металевих пластинах, груднині, п'ятих і шостих ребрах, які безпосередньо контактують з пластинами.
2. Використання довгих пластин з латеральними точками проведення веде до невеликого зниження величин напружень у всіх елементах моделі за рахунок більш рівномірного розподілу навантаження по довжині цих елементів.
3. Використання двох паралельних пластин (фіксатору по типу «Міст») дозволяє значно знизити рівень напружень, як в самих пластинах, так і в елементах скелету за рахунок збільшення площі їх контакту.

4.2.2 Дослідження розподілу деформацій в моделях при різних варіантах корекції лійкоподібної деформації грудної клітки

Першим етапом роботи вивчали відносні деформації, які виникають в моделі грудної клітки після корекції лійкоподібної деформації грудної клітки. В зв'язку з тим, що реберні хрящі мають найнижчий модуль пружності серед всіх елементів моделі грудної клітки, саме в них повинні відбуватися найбільші деформації. Розподіл відносних деформацій в моделях з різними схемами корекції лійкоподібної деформації грудної клітки наведено на рис. 4.12.

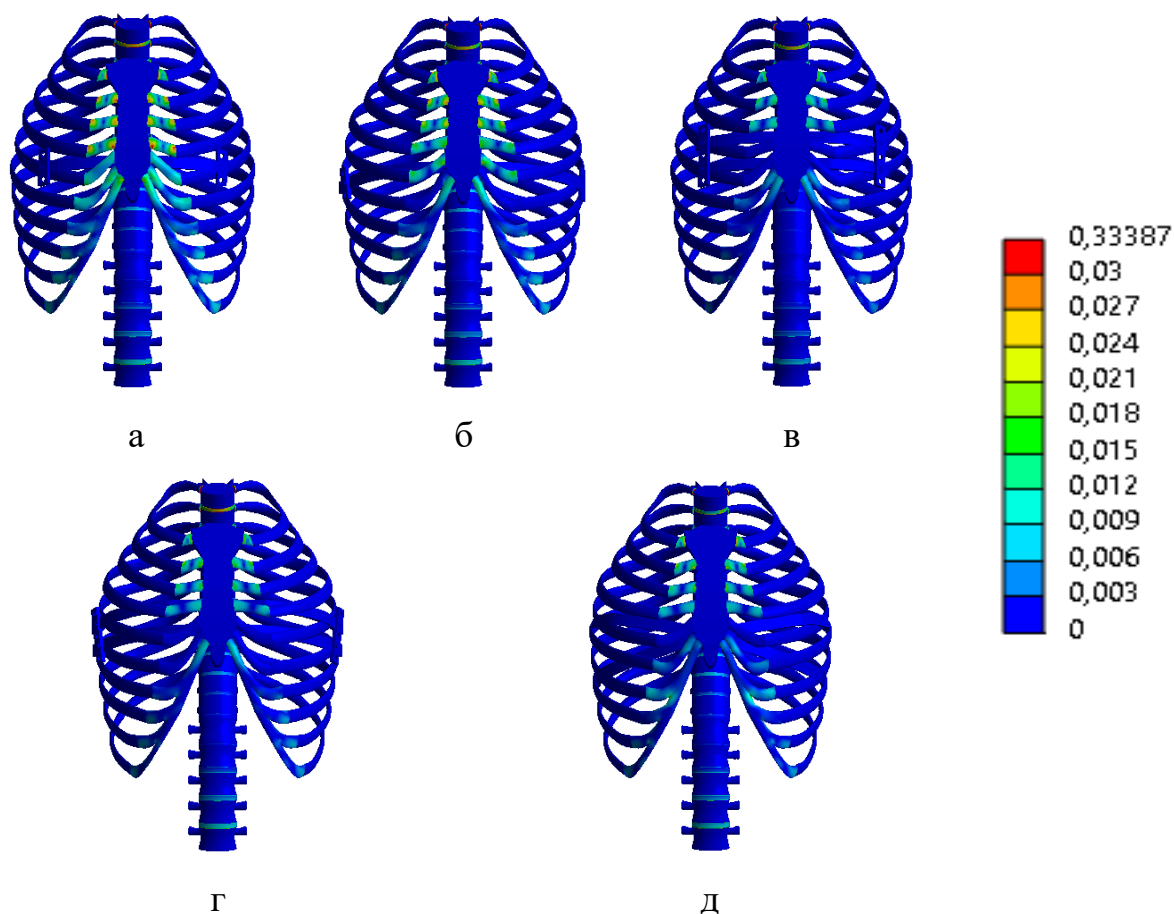


Рис. 4.12. Розподіл відносних деформацій в моделях грудної клітки з різними схемами корекції лікоподібної деформації груднини:

- а) коротка пластина;
- б) довга пластина;
- в) короткий фіксатор по типу «Міст»;
- г) довгий фіксатор по типу «Міст»;
- д) пластини навхрест

Проведені дослідження показали, що при корекції лікоподібної деформації грудної клітки за допомогою короткої пластини самими деформованими виявляються хрящі четвертих ребер, де відносні деформації сягають позначки 3,3 %. Великі показники відносних деформацій також визначаються в хрящах вище розташованих ребер, в яких вони спостерігаються в межах від 2,7 % до 3,1 %. В нижній частині грудної клітки рівень відносних деформацій поступово знижується досягаючи мінімуму 0,7% в хрящах сьомих

ребер. В хрящах ребер з восьмого по десяте відносні деформації визначаються практично на однаковому рівні від 1,0 % до 1,1 %.

Використання довгої пластини для корекції лійкоподібної деформації грудної клітки веде до зниження відносних деформацій хряща практично на всіх ребрах. Виняток складають хрящі третіх ребер, де відносні деформації зберігаються на рівні 3,1 %, та хрящі п'ятих ребер, в яких величина відносних деформацій трохи зростає до від 1,6 % до 1,8 %, в порівнянні з короткою пластиною.

Схема корекції лійкоподібної деформації груднини з використанням короткого фіксатору по типу «Міст» дозволяє значно зменшити деформації всіх реберних хрящів в порівнянні з одиночними пластинами. Так максимум відносних деформацій спостерігається в хрящах других і перших ребер, де вони визначаються на рівні 2,0 % та 1,8 %, відповідно. Надалі рівень відносних деформацій поступово знижується від 1,5 % в хрящах четвертих ребер до 1,1 % в хрящах п'ятих і шостих ребер. В нижче розташованих ребрах рівень відносних деформацій не перевищує 0,1 %.

Заміна короткого фіксатору по типу «Міст» на довгий веде до того, що деформованими залишаються хрящі верхніх ребер, де максимум відносних деформацій, 1,8%, визначається в хрящах перших ребер і поступово знижується до 1,0 % в хрящах четвертих ребер. Всі хрящі ребер розташованих нижче залишаються практично не деформованими, про що свідчить рівень їх відносних деформацій 0,1 %.

Слід відмітити, що при паралельній схемі розташування пластин величини відносних деформацій всіх реберних хрящів нижче за модель з схрещеним розташуванням. Виняток складають п'яті ребра, відносна деформація хрящів яких при схрещеному розташуванні пластин не перевищує 0,1 %.

Дані про величини відносних деформацій реберних хрящів при використанні різних схем корекції лійкоподібної деформації грудної клітки наведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Величини відносних деформацій реберних хрящів в моделях грудної клітки з різними схемами корекції лікоподібної деформації груднини.

контрольні точки		Відносні деформації, %				
№	елемент моделі	коротка пластина	довга пластина	короткий «Міст»	довгий «Міст»	пластини нахрест
1	ребро 1	2,9	2,7	1,8	1,8	2,0
2	ребро 2	3,1	3,1	2,0	1,6	2,0
3	ребро 3	2,7	2,6	1,5	1,3	1,9
4	ребро 4	3,3	1,8	1,1	1,0	1,1
5	ребро 5	1,6	1,8	1,1	0,1	0,1
6	ребро 6	1,3	0,6	0,1	0,1	0,6
7	ребро 7	0,7	0,6	0,1	0,1	0,8
8	ребро 8	1,0	0,8	0,1	0,1	0,3
9	ребро 9	1,1	0,8	0,1	0,1	0,7
10	ребро 10	1,1	1,0	0,1	0,1	0,7

Діаграма, яка наведена на рис. 4.13, надає уявлення про співвідношення величин відносних деформацій реберних хрящів моделей грудної клітки в залежності від схеми корекції лікоподібної деформації грудної клітки.

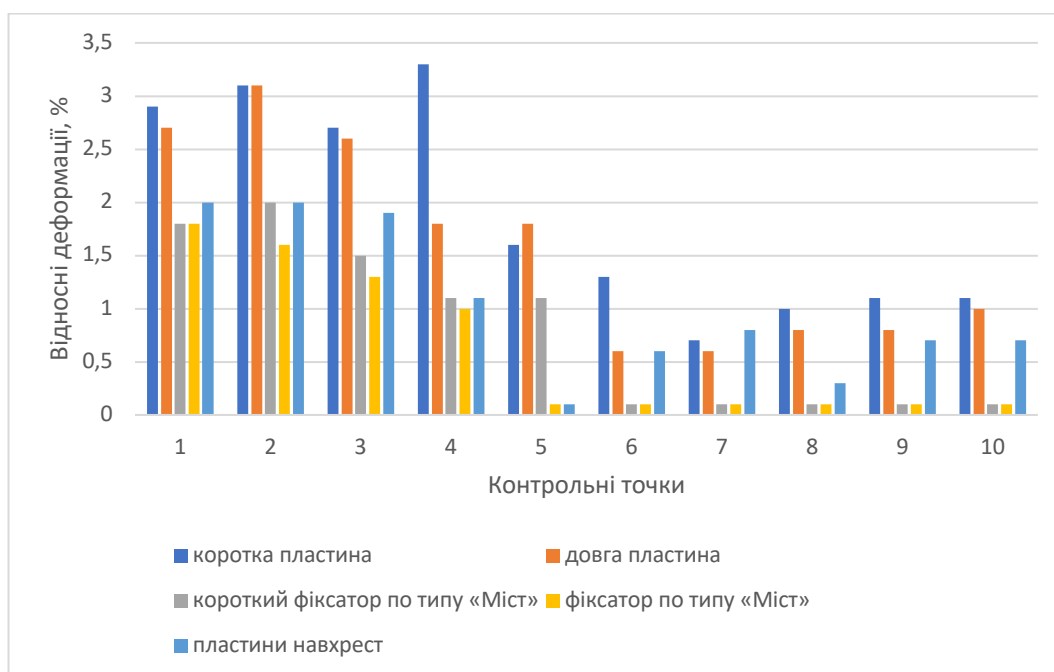


Рис. 4.13. Діаграма величин відносних деформацій реберних хрящів моделей грудної клітки в залежності від схеми корекції ЛДГК.

Приведена діаграма наочно демонструє переваги використання довгих пластин перед короткими і схем з двома паралельними пластинами перед схемами з однією пластиною по критерію величини відносних деформацій в елементах моделі грудної клітки. Також слід відмітити факт того, що метод паралельного розташування коригуючих пластин має значні переваги перед їх хрестоподібним розташуванням з точки зору величин відносних деформацій реберних хрящів.

Останнім етапом роботи вивчали максимальні переміщення грудної клітки та металевих пластин в залежності від використання схеми корекції лійкоподібної деформації груднини. Картину розподілу переміщень в елементах моделей наведено на рис. 4.14.

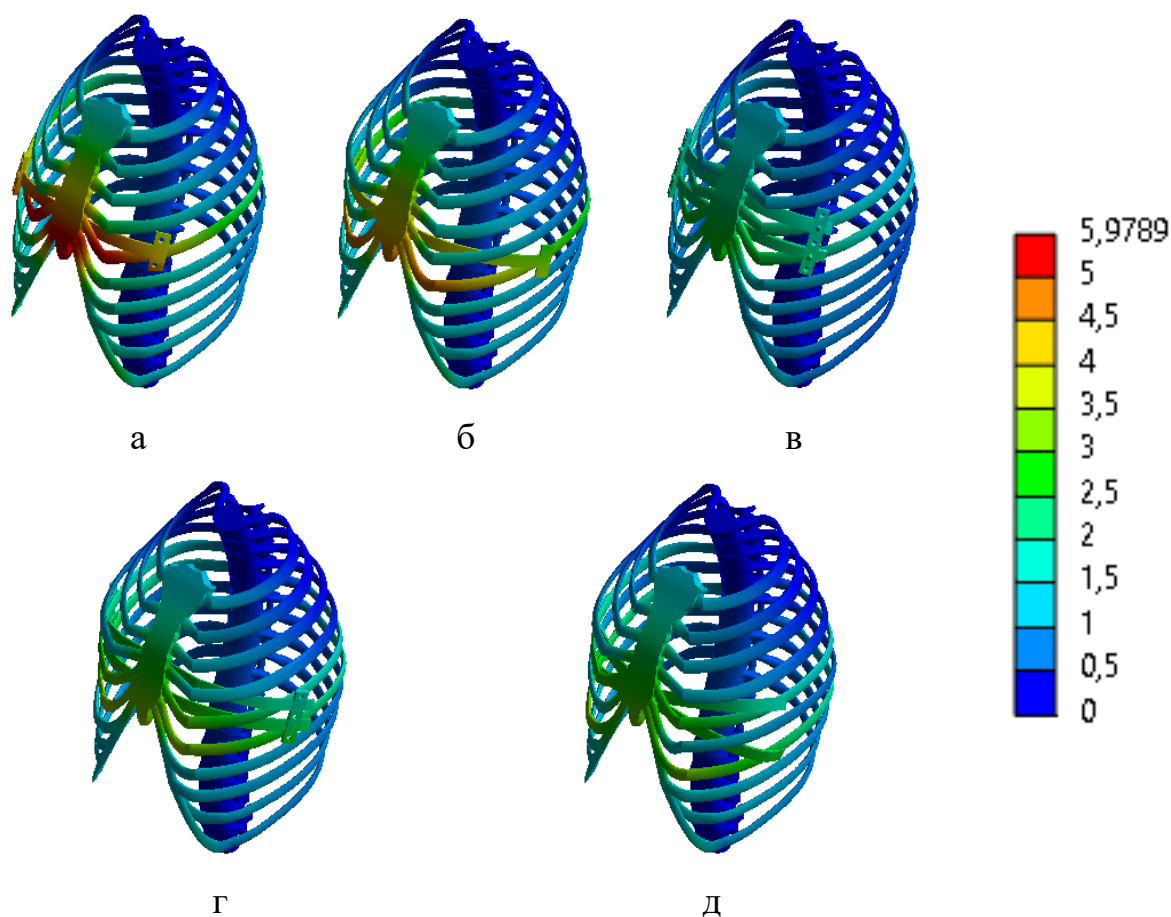


Рис. 4.14. Розподіл переміщень в моделях грудної клітки з різними схемами корекції лійкоподібної деформації грудної клітки:

а) коротка пластина; б) довга пластина; в) короткий фіксатор по типу «Міст»; г) довгий фіксатор по типу «Міст»; д) пластини навхрест.

Як бачимо на рис. 4.14, максимальні переміщення при всіх схемах корекції лійкоподібної деформації грудної клітки припадають на мечоподібний виросток. Так, максимальне переміщення мечоподібного виростка відбувається при використанні короткої пластини і складає 6,0 мм. Заміна пластини на довгу веде до зменшення величини переміщення мечоподібного виростку до 5,0 мм. При використанні фіксатору по типу «Міст» переміщення мечоподібного виросту визначаються на позначках 4 мм та 3 мм для короткого та довгого фіксатору, відповідно. Переміщення самих пластин в зоні контакту з грудиною трохи нижчі, і дорівнюють 5,1 мм для короткої пластини та 4,2 мм для довгої. При використанні схеми з фіксатором по типу «Міст» найбільші переміщення визначаються на верхніх пластинах і складають 3,1 мм та 2,5 мм для короткого та довгого фіксатору, відповідно. Нижні пластини прогинаються трохи менше, про що свідчать величини їх переміщень 2,7 мм для короткої пластини та 2,2 мм для довгої. При схрещеному методу накладання двох коригуючих пластин показники втрати корекції нижче ніж при паралельному їх розташуванні. Так, мечоподібний відросток переміщується на 3,0 мм та 4,0 мм, а коригуючі пластини на 2,5 мм при хрестоподібному їх розташуванні та 3,1 мм та 2,7 мм – при паралельному. Дані про величини максимальних переміщень в моделях грудної клітки з різними схемами корекції лійкоподібної деформації наведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Величини максимальних переміщень в моделях грудної клітки з різними схемами корекції лійкоподібної деформації.

Елемент моделі	Максимальні переміщення, мм				
	коротка пластина	довга пластина	короткий фіксатор по типу «Міст»	фіксатор по типу «Міст»	пластини навхрест
мечоподібний виросток	6,0	5,0	4,0	3,0	3,0
пластина нижня	5,1	4,2	3,1	2,5	2,5
пластина верхня			2,7	2,2	2,5

Наочне уявлення про співвідношення величин переміщень мечоподібного виростка та металевих пластин можна за допомогою діаграми, яка наведена на рис. 4.15.

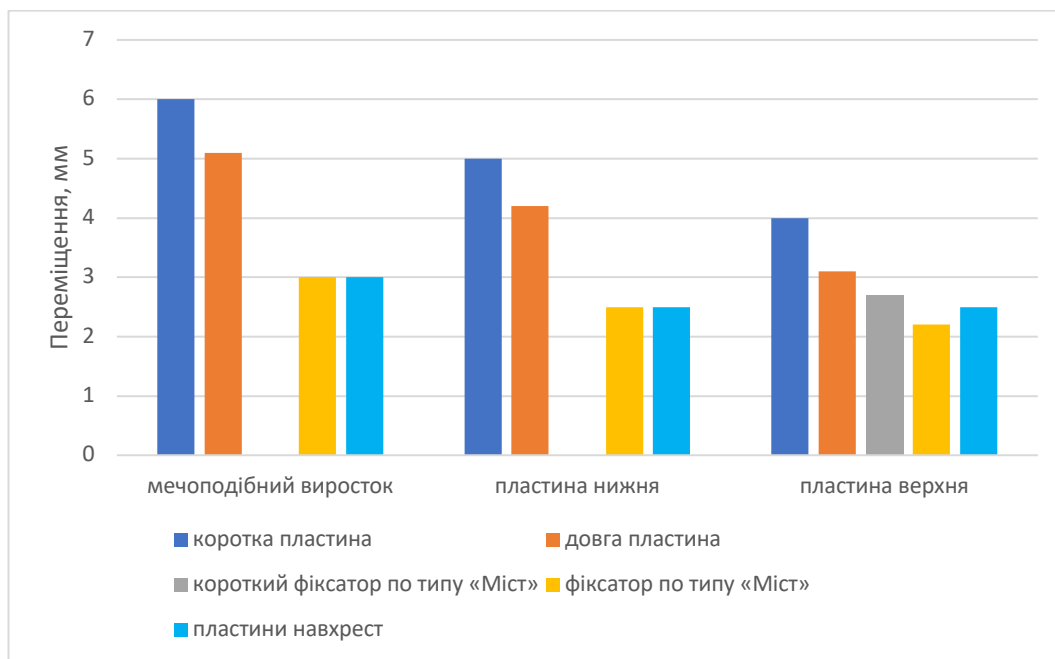


Рис. 4.15. Діаграма величин максимальних переміщень в моделях грудної клітки в залежності від схеми корекції ЛДГК.

З точки зору коригуючої відстані при елевації лійкоподібного западіння передньої грудної стінки та прогину фіксатору, визначається сильніший вплив на найбільш запалу частину грудної клітки, що припадає на тіло грудини та мечоподібний відросток при застосуванні методу проведення фіксатору медіальніше (парастернально) та відповідно довжині фіксатору, що закінчується на рівні передньої пахвової лінії (короткі пластини). Також є наочні переваги в розподіленні коригуючого впливу на грудну клітку при використанні подвійного фіксатору (по типу «Міст»). За критерієм збереження корекції перевагу має хрестоподібна схема розташування коригуючих пластин. Однакове переміщення обох пластин при їх хрестоподібному розташуванні пластини обумовлене тим, що в даному випадку пластини мають загальну точку контакту, і не можуть переміщуватись окремо одна від одної.

Висновки. Всі досліджені показники свідчать про переваги подвійного фіксатору по типу «Міст». Медіальне проведення фіксатору (короткі пластини) мають більші корегуючі зусилля на передню грудну стінку при елевації, що варто врахувати при виборі методики корекції. Однак латеральне проведення фіксатору розподіляє коригуючий вплив за площею, що може бути важливим в запобіганні ерозій тканин внутрішньої стінки грудної клітки, необхідності розширеної елевації западіння при плоских формах ЛДГК, зменшенні больового синдрому в післяопераційному періоді.

При моделюванні загрудинної пластини перед встановленням, беручи до уваги дане дослідження, для запобігання гіперкорекції варто враховувати ступінь вигинання центральної частини фіксатору, враховуючи, що прогин пластини при медіальному проведенні менший, а коригуючі зусилля більші.

Результати математичного моделювання стали підставою для розробки нового фіксатору для корекції лійкоподібної деформації грудної клітки.

За матеріалами розділу опубліковано:

[17] Пилипко В.М., Левицький А.Ф., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д. Експериментальні дослідження величини прогину пластини для корекції лійкоподібної деформації грудної клітки під впливом згинаючого навантаження. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 2023. 1 (78): 35-41; doi: 10.15574/PS.2023.78.35

[15] Пилипко В.М., Левицький А.Ф., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д., Яресько О.В. Дослідження розподілу напружень в елементах грудної клітки при різних схемах корекції лійкоподібної деформації груднини у дітей. *Ортопедія, травматологія та протезування*. 2023; (3): 28-35. DOI: <https://doi.org/10.15674/0030-59872023328-35>

[16] Пилипко В.М., Левицький А.Ф., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д., Яресько О.В. Порівняльний аналіз напружено-деформованого стану грудної клітки при корекції лійкоподібної деформації із застосуванням двох пластин: порівняння паралельного та схрещеного методів встановлення фіксаторів. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 2023. 3 (80): 40-49. doi: 10.15574/PS.2023.80.40.

[11] Левицький А.Ф., Пилипко В.М., Карпінський М.Ю., Яресько О.В. Дослідження коригуючого впливу різних типів фіксаторів на лійкоподібну деформацію грудної клітки при операції Nuss. *Травма*. 2023; 24(3): 45-53. DOI: 10.22141/1608-1706.3.24.2023.954

[12] Левицький А.Ф., Пилипко В.М., Карпінський М.Ю. Біомеханіка взаємодії фіксатору та елементів передньої грудної стінки при мініінвазивній корекції лійкоподібної деформації грудної клітки. III міжнародна фахова школа для дитячих лікарів хірургічних спеціальностей: «Рух в майбутнє вже сьогодні. Step by step» (8-10 грудня, 2023, Львів).

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ХІРУРГІЧНОЇ КОРЕКЦІЇ ЛІЙКОПОДІБНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ГРУДНОЇ КЛІТКИ

5.1 Фіксатор по типу «Міст»

На сьогоднішній день актуальною проблемою ортопедії дитячого віку є лікування лійкоподібної деформації грудної клітки та залишається відкритим питанням використання фіксаторів для хірургічного лікування цих деформацій [5, 60, 142].

Фіксатор для оперативної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки у дітей виправляє деформацію грудної клітки, але при застосуванні цього засобу нерідко виникають рецидиви та ускладнення.

Найбільш близьким до запропонованого є фіксатор для оперативної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки у дітей [14]. На підставі попереднього досвіду впровадження корисної моделі, що являє собою одинарну пластину для проведення торакопластики за Нассом, розроблено новий фіксатор для запобігання можливих ускладнень, таких як ротація пластини, а також розподіленні напруги та площі корегуючих зусиль. Одинарний фіксатор який представляє собою «Н»-подібну металеву пластину з чотирма отворами на її кінцях для фіксації нитками або проволкою до ребер. Пластина має на проксимальному кінці поперечне розширення, а на дистальному кінці поворотну деротаційну планку, яка кріпиться до основної частини за допомогою заклепки.

Однак, вказаний фіксатор має суттєвий недолік, який полягає у тому, що його дистальна деротаційна планка не має стабільної фіксації з пластиною після імплантування у міжреберних проміжках, що не виключає ротації фіксатору та рецидиву деформації.

Розроблено та запатентовано корисну модель, що являє собою фіксатор з двох титанових пластин, зв'язаних деротаційними планками з поглибленням за допомогою гвинтів, що дає змогу досягти стабільності конструкції та

розширенню площі дії фіксатора та унеможливлє його ротацію, мінімізує ризик рецидиву та ускладнень.

В основу корисної моделі поставлено задачу розробки фіксатора для хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки у дітей шляхом виконання фіксатора з двох титанових пластин, зв'язаних деротаційними планками з поглибленнями за допомогою гвинтів, що дозволить досягти більш стійкого ефекту корекції за рахунок збільшення площі дії фіксатора, що унеможливлє ротацію фіксатора та мінімізує ризик рецидиву та ускладнень.

Поставлена задача вирішена тим, що фіксатор для хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки у дітей містить металеву пластину з отворами на її кінцях та деротаційну планку і, згідно з корисною моделлю, фіксатор має дві титанові пластини з різьбовими отворами на кінцях, які з'єднані деротаційними планками за допомогою гвинтів, при цьому деротаційні планки виконані з двома поглибленнями з боку з'єднання їх з пластинами.

Фіксатор для хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки у дітей (рис 5.1) містить дві титанові пластини 1, 2 з отворами 3, з'єднані деротаційними планками 4, 5 за допомогою гвинтів 6.

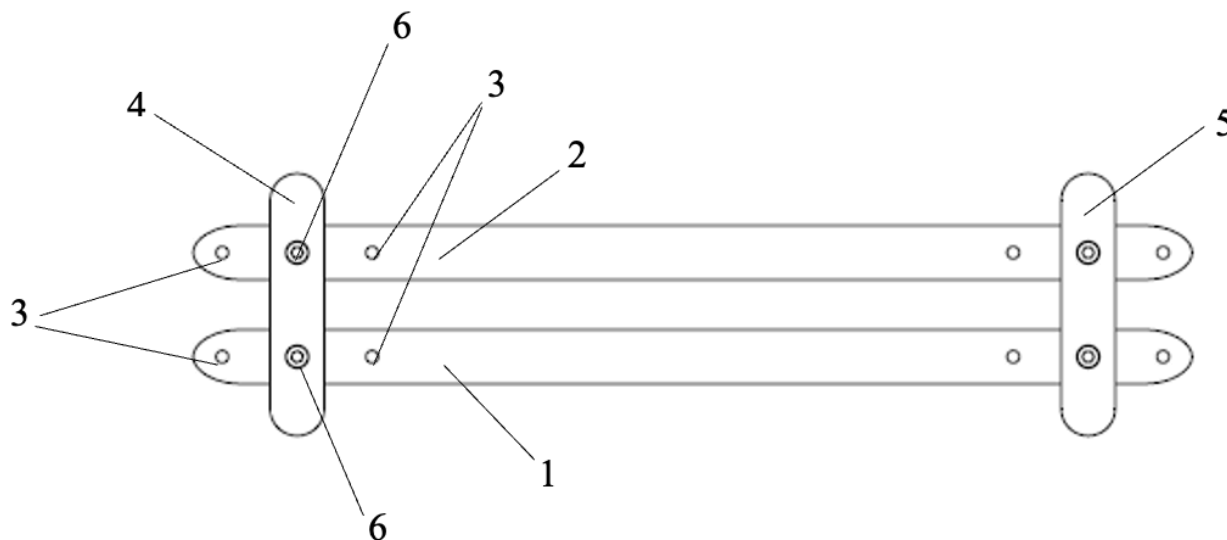


Рис. 5.1. Загальний вигляд фіксатора у зібраному вигляді

Деротаційні планки 4, 5 (рис. 5.2) виконані з поглибленнями 7, 8 з боку з'єднання з пластинами.

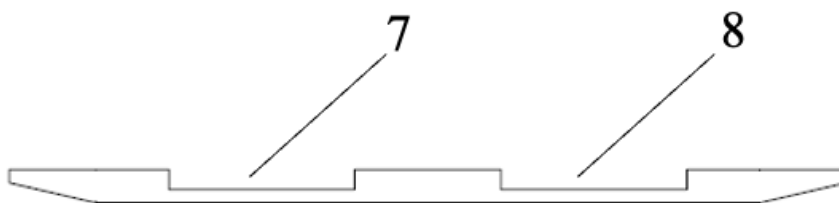


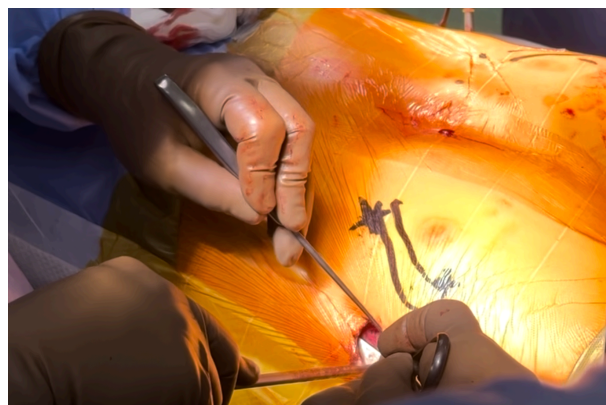
Рис. 5.2. Деротаційна планка, виконана з поглибленнями (вигляд збоку).

Фіксатор для хірургічної корекції лічкоподібної деформації грудної клітки у дітей застосовується наступним чином.

Пластины моделюються (рис. 5.3, а) інтраопераційно відповідно до форми грудної клітки пацієнта, під торакоскопичним контролем через латеральний розріз одну пластину 1 проводять зліва направо у III/IVму міжребер'ї поза грудиною, другу пластину 2 проводять аналогічним чином через той самий розріз в V/VI-му міжребер'ї, використовуючи для проведення нитку або трубку, яка проведена в попередньо-сформований тунель за допомогою провідника (рис. 5.3, б). Деротаційні планки 4,5 поперечно за допомогою гвинтів 6 з'єднують відповідно з пластинами 1,2. Деротаційні планки 4, 5 додатково забезпечують стабільність фіксації за рахунок їх виконання з поглибленнями 7,8 в місці з'єднання з пластинами 1,2. В робочому положенні положенні фіксатор забезпечує стабільну фіксацію в грудинно-реберному комплексі та не потребує додаткового прошивання до ребер (рис. 5.4). Фіксатор залишається у такому положенні стійкого досягнення корекції у строки від 2 до 4 років. Після огляду у вказаний період та наявності лікувального ефекту фіксатор видаляють.



а



б

Рис. 5.3. Моделювання фіксатору інтраопераційно для забезпечення корекції лічкоподібної деформації (а) та фіксація поперечної планки до пластин за допомогою гвинтів (б).

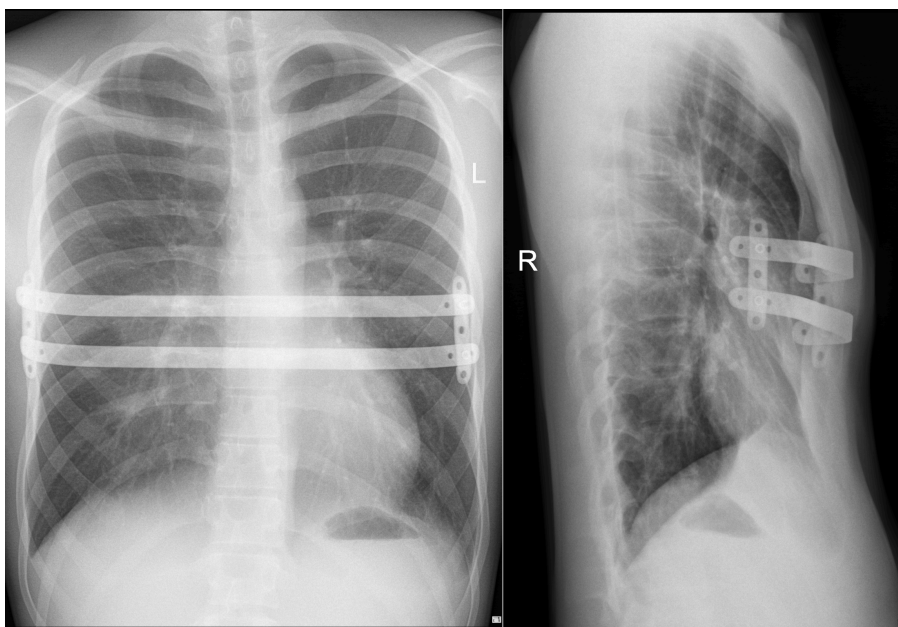


Рис. 5.4 Фотовідбитки рентгенограм грудної клітки з встановленим фіксатором по типу «Міст» нашої конструкції.

Запропонований тип фіксатору через його будову унеможливорює ротацію фіксатору, зміщення елементів у фронтальній та сагітальній площині. В той же час, за літературними даними, рецидиви після застосування традиційного фіксатору, за прототипом, спостерігаються від в 2% до 37% випадків [5, 61, 142]. Таким чином, забезпечення відсутності рецидивів можна пов'язати зі

стабільністю конструкції, яка монтується в двох міжреберних проміжках та запобігає ротації фіксатора.

На дану розробку отримано патент України на корисну модель №145159 UA [13].

5.1 Пристрій для тимчасової елевації западіння грудної клітки під час оперативного втручання.

При проведенні малоінвазивної корекції лічкоподібної деформації грудної клітки за Нассом, що полягає у загрудинному встановленні коригуючої пластини повстає питання в створенні оптимальних умов для візуалізації загрудинного простору, збільшенні просвіту між перикардом та задньою стінкою передньої грудної стінки. Для вирішення даної задачі різними авторами запропоновано безліч варіантів для тимчасової елевації западіння грудної клітки, таких як: використання вакуумного коректору, тракція гачком за грудину, використання системи кран-елевації, що запропонована Park et al. (рис. 5.5) [100, 109].

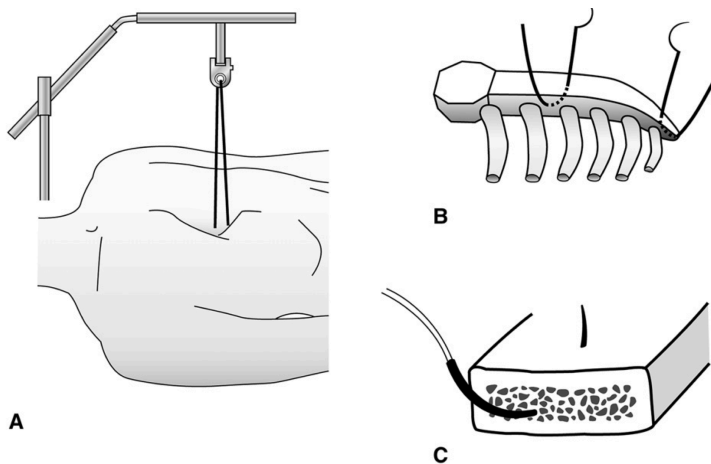


Рис. 5.5. Техніка кран-елевації запропонована Park et al [109]:

а) схематичне відображення розташування пацієнта на операційному столі та елевації западіння грудної стінки за допомогою тракції проволочного шва системою кран-елевації;

б) проволочний шов з його можливим проведенням через грудину та мечоподібний відросток;

с) Схематичне відображення проведення проволочного шва голкою через передню кортикальну пластинку грудини

Метод інтраопераційної елевації за допомогою «Крану» є надійним методом, оскільки створює стабільну елевацію та виключає участь асистента в тракції груднини, що полегшує проведення безпосередньої корекції ЛДГК.

Нами розроблено модифікований кран-елеватор для інтраопераційної корекції рис 5.6.



а



б

Рис. 5.6. Модифікований «Кран-елеватор» для інтраопераційного підняття передньої грудної стінки:

а) схематичне зображення пристрою, що кріпиться до операційного столу.

б) підйом передньої грудної стінки за допомогою пристрою інтраопераційно.

При проведенні оперативного втручання для корекції ЛДГК за Нассом, першим етапом до операційного стола в стерильних умовах проводять монтаж кран-елеватору, після чого грудина прошивається сталевюю проволкою з голкою через передню кортикальну пластинку, дріт фіксується до тракційного елементу крану. Далі за допомогою гвинтового механізму відбувається тракція груднини допереду під торакоскопичним контролем. Порт для торакоскопичної відеоасистенції встановлюється по середній аксиллярній лінії праворуч нижче на одне міжребір'я від місця проведення нижньої загрудинної пластини.

Схематичне зображення процесу кран-елевації та змін у візуалізації за грудинного простору інтраопераційно зображено на рис. 5.7.

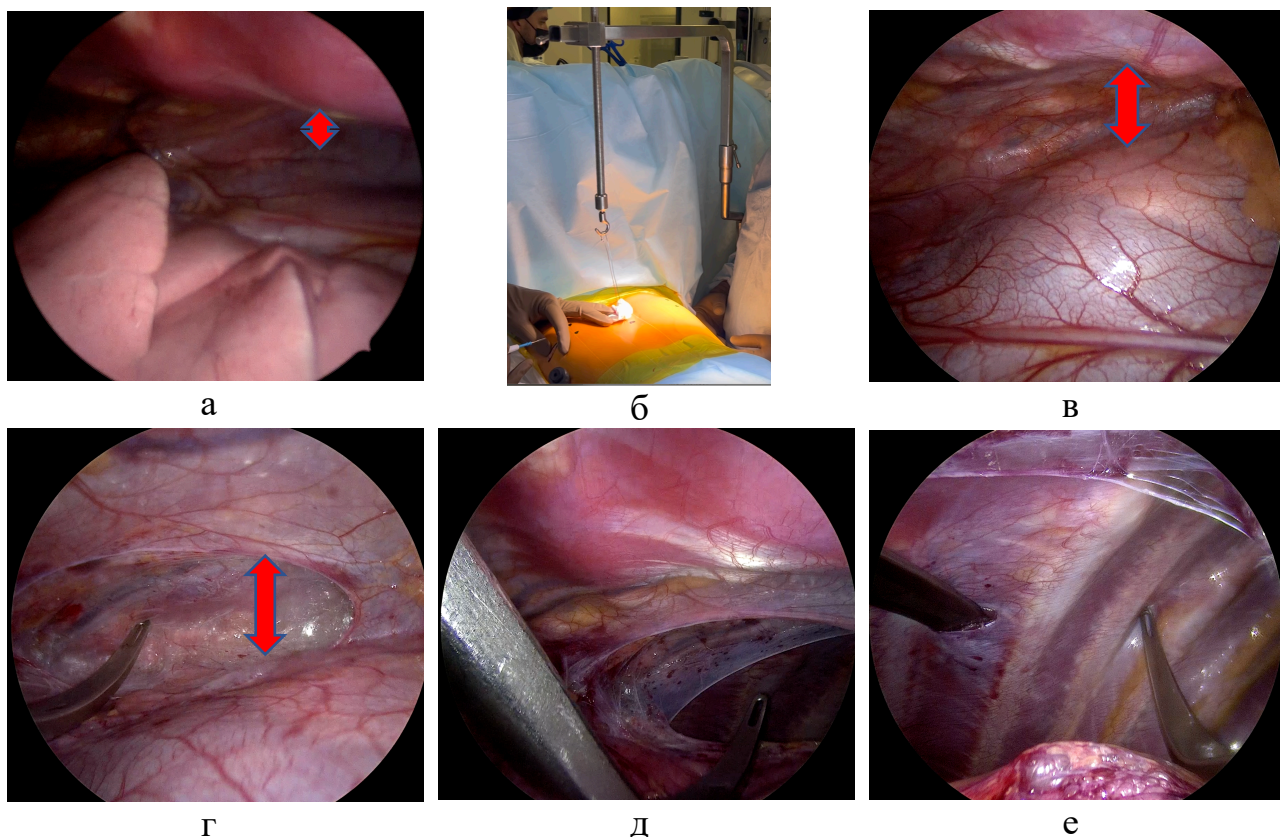


Рис. 5.7. Приклад використання крану-елеватор для підняття грудної клітки

- а) до підняття;
- б) проведення прошивання грудини сталевим дротом через передню кортикальну пластинку;
- в) грудна клітка піднята краном-елеватором;
- г) проведення тунелю для встановлення фіксатору;
- д) проведений тунель в за грудинному просторі;
- е) встановлено одну за грудинну пластину, проведення формування тунелю для нижньої пластини.

Варто зауважити, що встановлення торакоскопичного порту та відеоасистенція проводиться перед прошиванням грудини, задня частина грудини добре візуалізується (рис.5.7, а), що дає змогу контролювати зсередини безпечність проведення процедури прошивання голкою грудини та уникнути поранення серця при цьому. Після тимчасової корекції западіння стає можливим

безпечно провести тунель у загрудинному просторі для встановлення корегуючого фіксатору (рис. 6.7, г,д,е).

Результати розділу відображені в роботі:

[13] Патент на корисну модель 145159 UA МПК А61В 17/00, А61В 17/68 (2006.01), А61В 17/70 (2006.01). ФІКСАТОР ДЛЯ ХІРУРГІЧНОЇ КОРЕКЦІЇ ЛІЙКОПОДІБНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ГРУДНОЇ КЛІТКИ У ДІТЕЙ / Левицький А. Ф.; Пилипко В. М.; Годік О. С.; Карабенюк О. В.; Буженко В. М.; Бебешко О. В. (Патентовласник: Національний Медичний Університет ім. О.О. БОГОМОЛЬЦЯ). Заявка u202003530 від 11.06.2020. Опубл. 25.11.2020, бюл. № 22

РОЗДІЛ 6

СИСТЕМА ВИБОРУ ТАКТИКИ ЛІКУВАННЯ ЛІЙКОПОДІБНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ГРУДНОЇ КЛІТКИ

На підставі даних літератури та досвіду лікування пацієнтів з лійкоподібною деформацією грудної клітки різних вікових груп з урахуванням даних біомеханічних досліджень, нами розроблено систему вибору тактики лікування ЛДГК у дітей та підлітків (рис. 6.1).

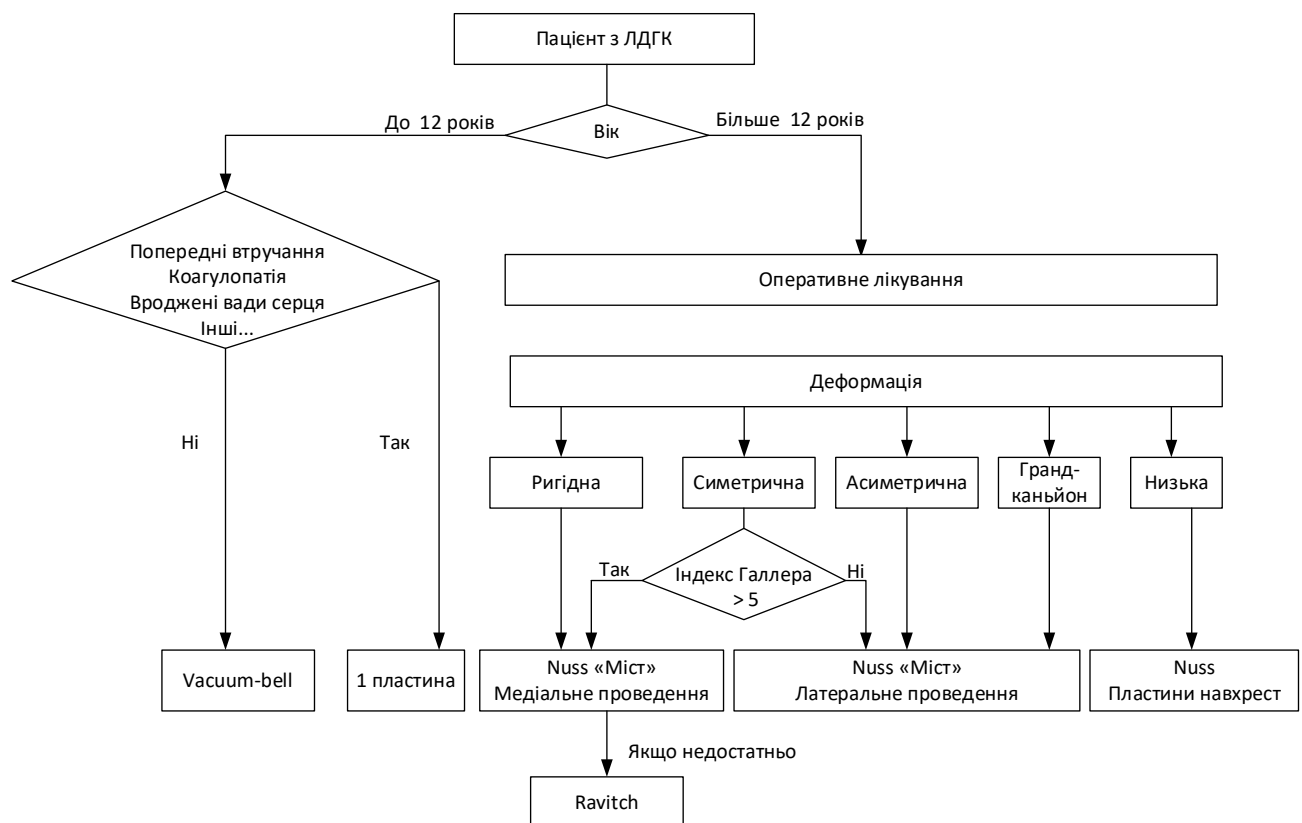


Рис. 6.1 Система вибору тактики лікування лійкоподібної деформації грудної клітки.

Консервативне лікування. Відомо, що золотим стандартом консервативної терапії є використання вакуумного коректору, або Vacuum bell терапія. Даний метод найбільш ефективний у дітей до 12 років (рис. 6.2).

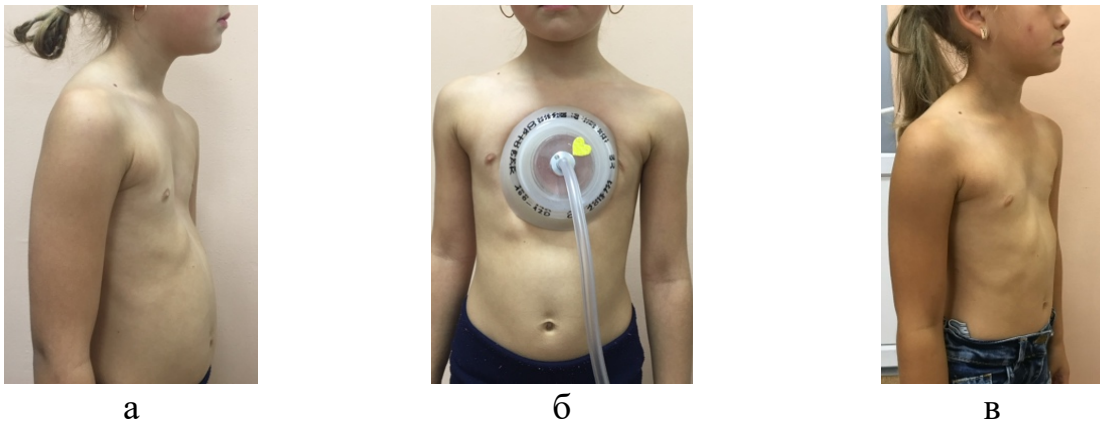


Рис. 6.2. Приклад використання консервативного лікування ЛДГК у пацієнтів молодшого віку методом Vacuum bell. (Пацієнтка Р, 6 років)

- а) до лікування;
- б) пацієнт з апаратом
- в) через 3 місяці після лікування

Метод полягає у щоденному рутинному використанні ортезу, який за допомогою вакууму створює тракційний ефект до запалої передньої грудної стінки. Через механічний вплив не тільки на грудинно-реберний комплекс, а й оточуючі тканини та органи (шкіра, серце, середостіння, легені), формується перелік станів, що є протипоказанням до використання даного методу лікування. До таких відносяться:

- перенесені оперативні втручання на серці та легенях; через наявність структурних та рубцевих змін, при використанні вакуумного коректору можуть виникнути ускладнення в роботі органів, що неприпустимо в домашніх умовах;
- коагулопатії, через ризик виникнення підшкірних гематом та крововиливів.

При наявності означених протипоказів, рекомендується проведення хірургічного лікування (клінічний приклад 1, рис. 6.3)

Діти старшого віку зазвичай мають гірші результати при використанні вакуумного коректору та при наявності показів ($HI \geq 3.25$, порушення в роботі серця та легень, психоемоційні розлади), їм рекомендується оперативне лікування в підлітковому віці.

Клінічний приклад 1. Пацієнт Е, 3 роки, історія хвороби №160 (2021 р.), поступив у відділення ортопедії та травматології з діагнозом: лійкоподібна деформація грудної клітки, лімфангіома середостіння та шийї. Враховуючи перенесені в анамнезі оперативні втручання на грудній порожнині з приводу лімфангіоми, вираженому западінні передньої грудної стінки та можливим виникненням ускладнень, рекомендовано оперативне втручання: хірургічна корекція лійкоподібної деформації грудної клітки за Насс з торакоскопічною асистенцією (рис. 6.3)

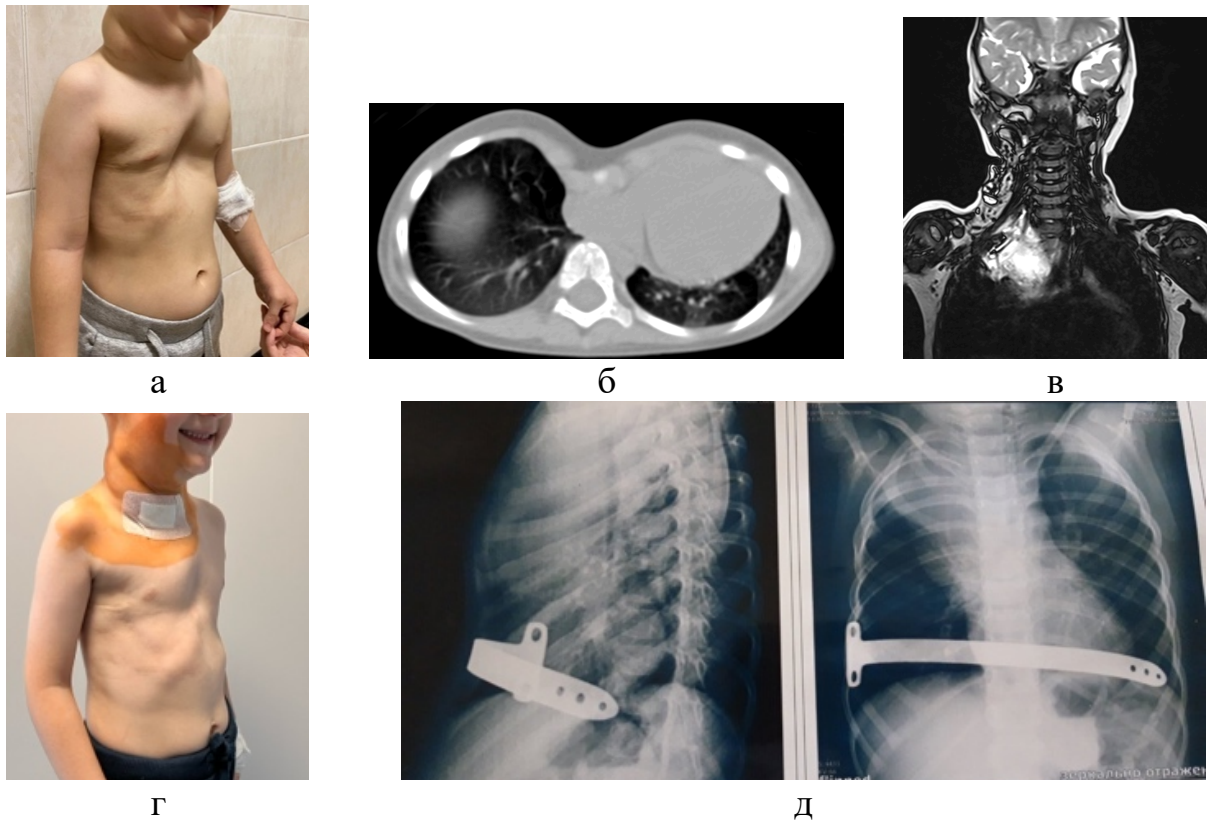


Рис. 6.3. Пацієнт Е, 3 років, Симетрична лійкоподібна деформація грудної
 а) зовнішній вигляд пацієнта до проведення оперативного втручання
 б) фотовідбитки кт в аксіальній площині з візуалізацією деформації передньої грудної стінки
 в) фотовідбитки мрт пацієнта у фронтальній площині з візуалізацією лімфангіоми шийї та середостіння
 г) зовнішній вигляд пацієнта через 3 роки після оперативного втручання
 д) фотовідбитки рентгенограм після проведення корекції деформації грудної клітки

Пацієнт перебуває під динамічним спостереженням мультидисциплінарної команди, проходить етапне лікування з приводу лімфангіоми, фіксатори на момент написання роботи не видалені.

Хірургічне лікування. При наявності протипоказань, супутніх захворювань, що унеможливають консервативне лікування, або важкі деформації, що призводять до функціональних порушень, пацієнтам рекомендовано оперативне втручання за методикою Насса для корекції лійкоподібної деформації грудної клітки.

У дітей до 12 років грудна клітка більш мобільна, а також у більшості випадків обсяг грудної клітки є невеликим, тому оптимальним є використання однієї заградинної пластини з одним або двома поперечними стабілізаторами (клінічний приклад 2, рис. 6.4;).

Клінічний приклад 2. Пацієнт С, 7 років, історія хвороби №171 (2018р.) госпіталізований у відділення ортопедії та травматології з діагнозом: Симетрична лійкоподібна деформація грудної клітки, тип по Park 1a, індекс Галлера до оперативного втручання 3,28. (рис. 6.4, а).

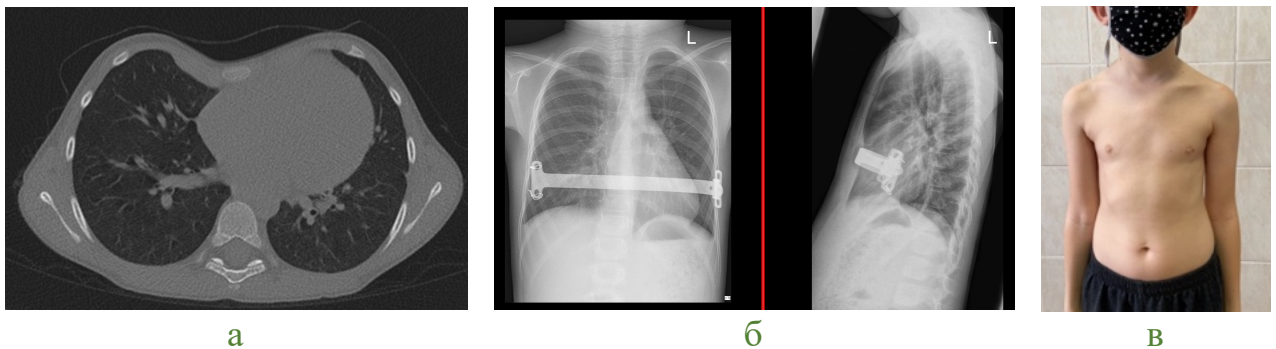


Рис. 6.4. Пацієнт С, 7 років. Діагнозом: Лійкоподібна деформація грудної клітки

а) фотовідбиток аксіального зрізу КТ ОГК в місці лійкоподібної деформації грудної клітки

б) фотовідбитки рентгенограм пацієнта через 3 роки після оперативного втручання

в) зовнішній вигляд пацієнта через 3 роки після корекції деформації грудної клітки за Нассом

Пацієнт мав скарги на задишку та зниження толерантності до фізичних навантажень. Після клінічного обговорення пацієнту рекомендовано проведення оперативного втручання: малоінвазивну корекцію лійкоподібної деформації грудної клітки за Нассом з торакоскопичною асистенцією з використанням однієї заградинної пластини з поперечними стабілізаторами (рис. 6.4, б).

Інтраопераційно досягнуто повної корекції після встановлення подвійного фіксатору з латеральним проведенням фіксатору.

Через 3 роки проведено видалення фіксаторів з грудної клітки (рис. 6.4, в), за час спостереження після видалення фіксаторів рецидиву деформації не виявлено, пацієнт у задовільному стані, веде активний спосіб життя, займається спортом.

Дітям підліткового віку (старше 12 років) при наявності показань до оперативного втручання, рекомендовано використання подвійного фіксатору по типу «Міст». Це пояснюється зменшенням ймовірності ускладнень по нестабільності конструкції, а також розподілення корегувального впливу фіксатору на грудну клітку.

Окремим є питання вибіру оптимальної «точки проведення» фіксаторів в грудну порожнину. Медіальне проведення дає сильнішу корекцію, однак біомеханічні моделі свідчать, що корегувальних зусиль при латеральному проведенні достатньо для досягнення оптимального результату. Тому медіальне проведення ми рекомендуємо лише в окремих випадках центральної деформації, коли ступінь западання дуже великий (індекс Галлера >5), тобто корегувальні зусилля концентруються на центральній частині фіксатору (клінічний приклад 3, рис. 6.5).

Клінічний приклад 3. Пацієнт К, 17 років, історія хвороби №372 (2022 р.), Діагноз: Симетрична ліycopодібна деформація грудної клітки, тип по Park 1a, індекс Галлера до оперативного втручання 6,04. (рис. 6.5 а, б).

Пацієнту рекомендовано проведення оперативного втручання: малоінвазивну корекцію ліycopодібної деформації грудної клітки за Нассом з торакоскопичною асистенцією, фіксатор по типу «Міст». Інтраопераційно досягнуто повної корекції після встановлення подвійного фіксатору з латеральним проведенням фіксатору.

Пацієнт виписаний у задовільному стані на 6-ту добу після оперативного втручання (рис. 6.5 в, г), корекція деформації задовільна.

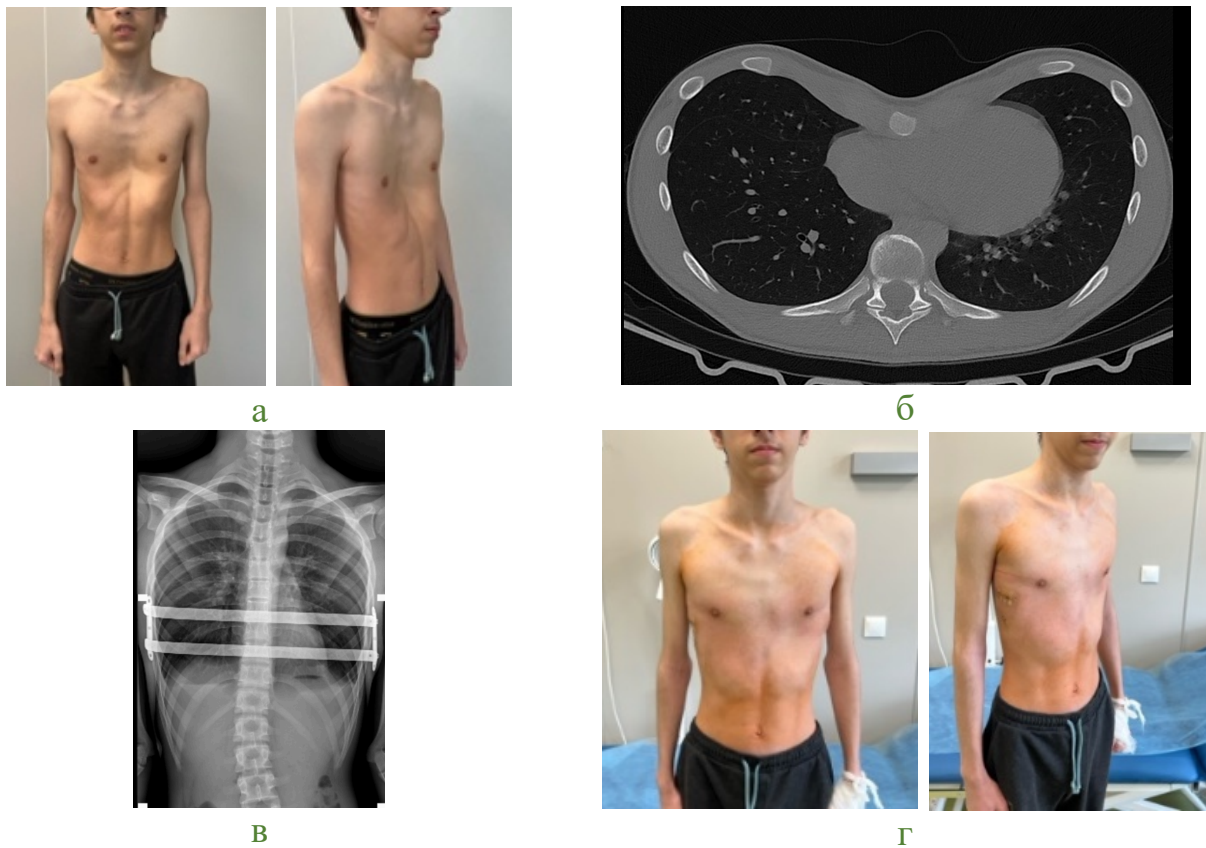


Рис. 6.5. Пацієнт К., 17 років. Діагноз: Симетрична лійкоподібна деформація грудної клітки.

- а) зовнішній вигляд пацієнта до проведеного оперативного втручання;
- б) фотовідбиток аксіального зрізу КТ ОГК в місці ЛДГК.
- в) фотовідбитки рентгенограм пацієнта через після оперативного втручання;
- г) зовнішній вигляд пацієнта перед випискою, на 6 добу після операції.

Латеральне проведення має низку переваг, як косметичних так і біомеханічних з точки зору розповсюдження корегувального впливу на грудинно-реберний комплекс. Проведення фіксаторів а грудну порожнину на рівні передньої пахвової лінії дозволяє уникнути обширної мобілізації грудних м'язів, а у випадку дівчат додатково грудної залози (Клінічний приклад 4, рис. 6.6).

Клінічний приклад 5. Пацієнтка Б., 13 років; історія хвороби №834 (2022 р.), госпіталізовані у відділення ортопедії та травматології з діагнозом: Симетрична лійкоподібна деформація грудної клітки, тип по Park 1a; індекс Галлера до оперативного втручання 2, 9 (рис. 6.6).

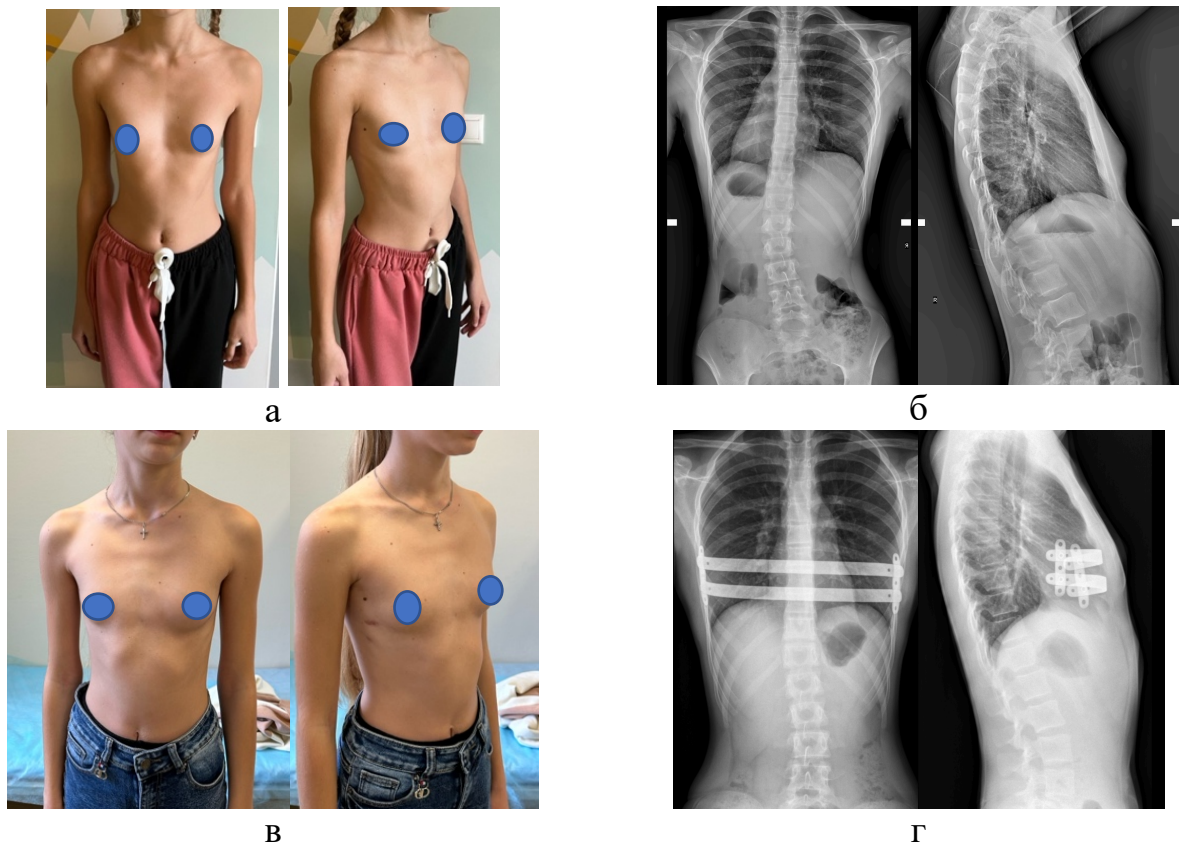


Рис. 6.6. Пацієнтка Б., 13 років. Діагноз: Симетрична ЛДГК, тип по Park 1а; індекс Галлера до оперативного втручання 2,9.

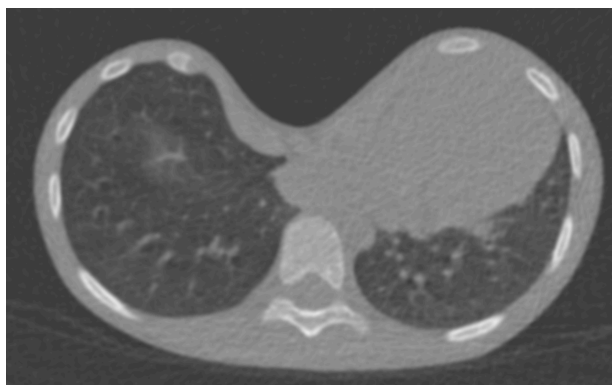
- а) рентгенограми до проведення оперативного втручання;
- б) зовнішній вигляд грудної клітки до проведення оперативного втручання;
- в) рентгенограми через 3 місяці після оперативного втручання;
- г) зовнішній вигляд пацієнтки після проведеного оперативного втручання

Враховуючи дані КТ, фізикальних методів обстеження рекомендовано оперативне втручання: малоінвазивну корекцію лічкоподібної деформації грудної клітки за Нассом з торакоскопічною асистенцією, фіксатор по типу «Міст». Інтраопераційно досягнуто повної корекції після встановлення подвійного фіксатору з латеральним проведенням фіксатору. Через 3 місяці після оперативного втручання на контрольному огляді пацієнтки відмічається задовільна корекція, відсутність ускладнень, повне відновлення фізичної активності пацієнтки. За даними рентгенограм грудної клітки в прямій та боковій проекції до та після оперативного втручання відмічається повна корекція деформації, стабільне положення фіксаторів.

У випадку з деформаціями по типу «Гранд каньйон» та плоскими деформаціями - медіальне проведення може призвести до недостатньої корекції, або гіперкорекції центральної частини грудної клітки, адже запала частина

передньої грудної стінки включає не тільки грудину з парастернальними частинами ребер, а й реберний комплекс передньої грудної стінки в цілому. При даних деформаціях метод вибору – використання подвійного фіксатору з латеральним типом проведення. Однак в деяких випадках латеральне проведення може бути утруднене через важкість досягнення інтраопераційної візуалізації, при таких ситуаціях фіксатори можуть бути встановлені з медіальними точками проведення (клінічний приклад 5, рис. 6.7), пацієнти в подальшому перебувати під ретельним клінічним спостереженням для контролю гіперкорекції.

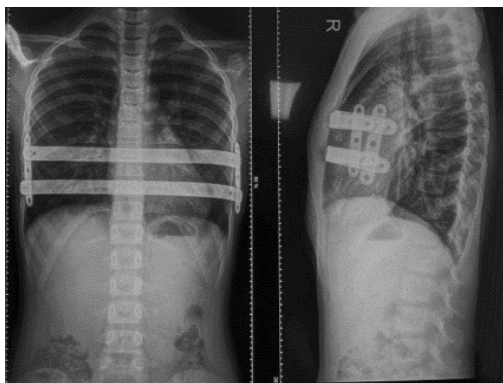
Клінічний приклад 5. Пацієнтка М, 7 років, історія хвороби №328 (2020р.), госпіталізована у відділення ортопедії та травматології з діагнозом: Симетрична лійкоподібна деформація грудної клітки, тип по Park 2a3 – «Гранд каньйон», індекс Галлера до оперативного втручання 10,3. (рис. 6.7, а, б).



а



б



в



г

Рис. 6.7. Пацієнтка М, 7 років, Симетрична лійкоподібна деформація грудної клітки, тип по Park 2a3 – «Гранд каньйон»
а, б) фотовідбитки КТ в аксіальній та сагітальній площині;

- в) фотовідбитки рентгенограм після оперативного втручання;
- г) зовнішній вигляд пацієнтки через 3 місяці після оперативного втручання

Пацієнтка не мала скарг на задишку чи погане перенесення фізичних навантажень, однак за даними КТ відмічалось значне зміщення серця вліво та стиснення правих відділів серця та негативну динаміку серцевих показників за даними УЗД. Враховуючи виражену деформацію рекомендовано оперативне втручання, з урахуванням довгого каналу деформації прийнято рішення використати фіксатор по типу «Міст» з медіальним проведенням (рис.6.7, в). Враховуючи конституцію дитини, відмічалось контурування фіксаторів під шкірою (рис. 6.7, г).

Повторне оперативне втручання з видалення фіксаторів проведено через 3 роки, за час спостереження рецидиву та ускладнень не відмічалось.

У випадку плоскої лійкоподібної деформації грудної клітки западання передньої грудної стінки починається практично від рівня передньої пахвової лінії, тому завданням при торакопластиці за Нассом є елевация всієї площі запалої грудної клітки. Враховуючи дані біомеханічного дослідження таким пацієнтам показане латеральне проведення фіксаторів з відповідним вибором більшої довжини загрудинних пластин (рис. 6.8).

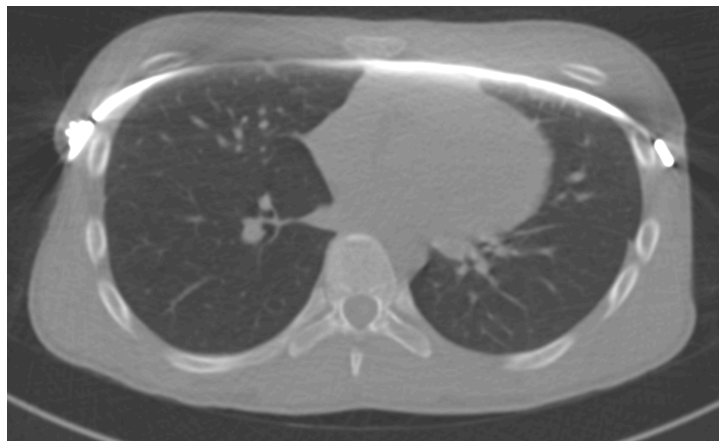


Рис. 6.8. Фотовідбиток КТ грудної клітки з плоскою деформацією грудної клітки після операції за Нассом з використанням фіксатору по типу «Міст» з латеральним проведенням загрудинних пластин

Відомо, що вибір більш латеральних точок введення фіксаторів в грудну порожнину негативно впливає на ротаційну стабільність пластини, однак при використанні системи «Міст» даний недолік усувається через конструктивні особливості даного фіксатора. Проведення в сусідніх міжреберних проміжках за грудинних пластин за умови фіксації одна до одної поперечними планками робить фіксатор стабільним. Даний метод більш обґрунтований, коли мова йде про асиметричні деформації, адже плече корегувального впливу фіксатора більше розповсюджується на хрящові частини ребер та дає змогу збалансувати асиметрію (клінічний приклад 6, рис. 6.9).

Клінічний приклад 6. Пацієнт Г, 16 років, історія хвороби №137 (2021р.) госпіталізований у відділення ортопедії та травматології з діагнозом: Асиметрична плоска лійкоподібна деформація грудної клітки, тип по Park 2a2, індекс Галлера до оперативного втручання 4,18 (рис. 6.9, а,б).

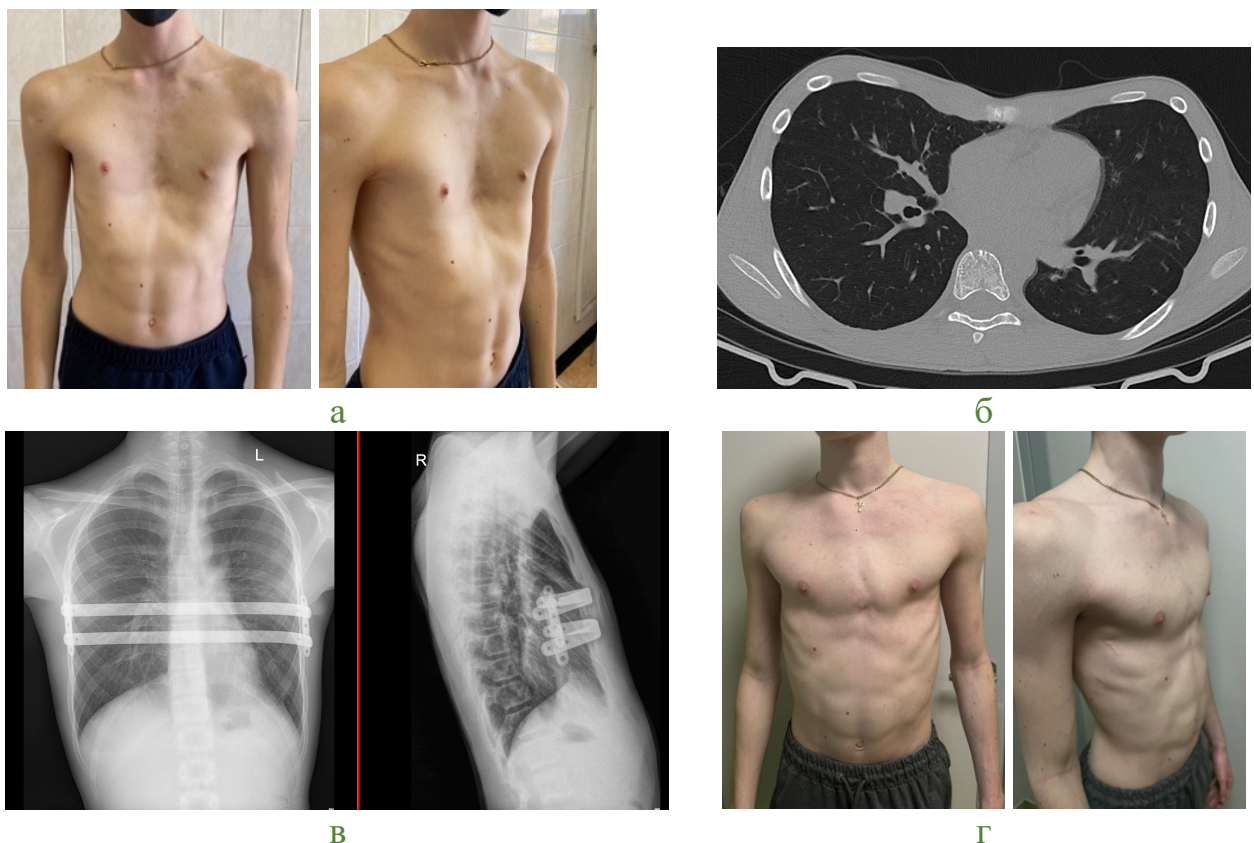


Рис. 6.9. Пацієнт Г, 16 років з діагнозом Асиметрична плоска лійкоподібна деформація грудної клітки

а) зовнішній вигляд пацієнта до проведеного оперативного втручання

- б) фотовідбиток аксіального зрізу КТ ОГК
- в) фотовідбитки рентгенограм пацієнта через 3 роки після оперативного втручання
- г) зовнішній вигляд пацієнта через 3 роки після корекції деформації грудної клітки за Нассом.

Пацієнту рекомендовано проведення оперативного втручання: малоінвазивну корекцію лійкоподібної деформації грудної клітки за Нассом з торакоскопічною асистенцією, фіксатор по типу «Міст». Інтраопераційно досягнуто повної корекції після встановлення подвійного фіксатору з латеральним проведенням фіксатору.

Через 3 роки пацієнту проведено видалення фіксаторів(рис. 6.9, в,г), корекція деформації задовільна.

Прогресування деформації зазвичай відбувається під час інтенсивного росту дитини. Тому планування лікування пацієнтів молодше 12 років потребує особливої уваги, наявності не тільки косметичних показів, а й функціональних порушень. При виборі способу хірургічної корекції варто пам'ятати про можливість рецидиву деформації після видалення фіксатору під час подальших стрибків росту. Враховуючи дану особливість методика малоінвазивної корекції по Nuss має значні переваги через відсутність рубцевих змін грудинно-реберного комплексу та дозволяє зберегти еластичність передньої грудної стінки (клінічний приклад 7, рис. 6.10).

Клінічний приклад 7. Пацієнт Б, 3 роки, історія хвороби № 656 (2018 р.) поступив у відділення ортопедії та травматології з діагнозом лійкоподібна деформація грудної клітки (рис. 6.10).

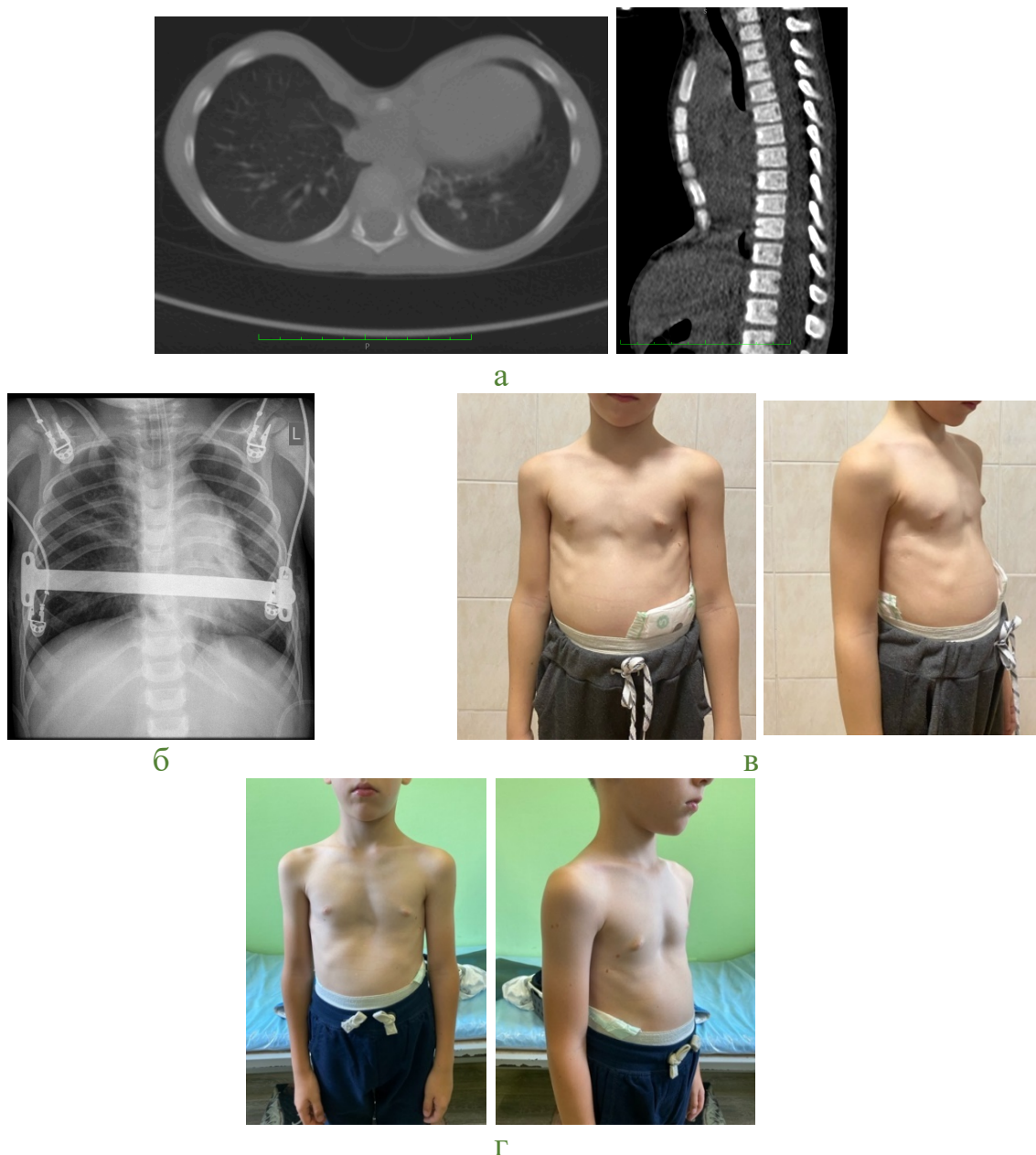


Рис. 6.10. Пацієнт Б, 3 роки. Діагноз: Симетрична ЛДГК
 а) фотовідбитки КТ в аксіальній та сагітальній площині;
 б) фотовідбитки рентгенограм після оперативного втручання;
 в) зовнішній вигляд пацієнта через 3 роки після оперативного втручання (вік 6 років), заплановано видалення фіксаторів
 г) зовнішній вигляд пацієнта через 2 роки після видалення фіксаторів (вік 8 років), ознаки рецидиву ліycopодібної деформації грудної клітки

Враховуючи в анамнезі перенесені оперативні втручання, наявність гідронефрозу на етапах оперативного лікування, даних клінічних та інструментальних досліджень, пацієнту рекомендовано проведення оперативного втручання: малоінвазивна корекція ЛДГК по Nuss з торакоскопичною асистенцією, фіксатор одинарна за груди́нна пластина. Ранній

післяопераційний перебігав без ускладнень, корекція деформації задовільна. Через 3 роки після реконструкції грудної клітки пацієнту проведено видалення фіксаторів. Після видалення фіксаторів через 2 роки ознаки рецидиву деформації.

Малоінвазивний метод за Нассом передбачає моделювання грудинно-реберного комплексу, однак можливі варіанти коли передня грудна стінка є ригідною та під час хірургічного втручання не вдається досягти оптимальної корекції форми грудної стінки. На підставі існуючих даних, щодо впливу ребер та груднини при ЛДГК на жорсткість деформації, оптимальним рішенням при недостатній корекції методом Насса є доповнення хірургічної техніки елементами резекційного відкритого втручання по Равіч. Це може бути хондротомії на різних рівнях, проведення стернотомії, резекція реберних хрящів. При цьому опорні пластини, що встановлені попередньо в обов'язковому порядку залишаються для досягнення стабільної корекції та запобіганню рецидиву деформації.

За матеріалами розділу опубліковано:

[9] Левицький А.Ф., Пилипко В.М., Годік О. С., Бебешко О. В. Малоінвазивна хірургічна корекція лійкоподібної деформації у підлітків: практичні поради щодо запобігання можливим ускладненням. Об'єднання науки та практики: до 85-річного ювілею кафедри дитячої хірургії: науково-практична конференція з міжнародною участю (18-19 травня 2023. Одеса). Одеса, 2023: 195.

РОЗДІЛ 7

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ХІРУРГІЧНОГО ЛІКУВАННЯ ПАЦІЄНТІВ З ЛДГК. ОЦІНКА РИЗИКІВ РОЗВИТКУ УСКЛАДНЕНЬ

7.1 Аналіз груп пацієнтів з ЛДГК

Пацієнти були поділені на 2 групи за віком: I – до 12 років (27 пацієнтів), середній вік ($7,7 \pm 2,9$) роки; II група – 98 пацієнтів від 12 до 18 років ($14,5 \pm 1,6$) років.

У пацієнтів спостерігали 5 типів деформації грудної клітки (табл. 7.1)

Таблиця 7.1.

Розподіл типів деформації грудної клітки у пацієнтів

Група	Тип по Парк (абс (%))				
	1a	1в	2a1	2a2	2a3
I (n=27)	15 (55,6%)	1 (3,7%)	5 (18,5%)	3 (11,1)%	3 (11,1)%
II (n=98)	55 (56,1%)	11 (11,2%)	17 (17,3%)	12 (12,2%)	3 (3,1%)
Всього (n=125)	70 (56,0%)	12 (9,6%)	22 (17,6%)	15 (12,0%)	6 (4,8%)
Різниця між групами	$\chi^2=4,145$; $p=0,387$				

У пацієнтів переважно діагностували тип деформації 1a (70 (56 %)), майже порівну у групах. Деформація типу 1в частіше спостерігали в II групі (11 (11,2 %), а тип 2a3 – в I групі (3) 11,1 %). Деформації типів 2a1 та 2a2 спостерігалися в групах з однаковою частотою. Статистичної різниці у розподілі типів деформації між групами не виявлено ($p=0,387$).

Розподіл груп за ступенем важкості деформації грудної клітки по Галлеру наведено в табл. 7.2.

Таблиця 7.2.

Величина індексу деформації грудної клітки (по Галлеру) в групах

	I група	II група	Різниця між групами (t, p)
	M±SD / min÷max		
Індекс Галлера	5,37±2,52 2,60÷12,10	4,05±1,00 2,70÷7,90	t=2,654 p=0,013

Величина деформації у пацієнтів молодшої I групи ($5,37 \pm 2,52$) статично значущо ($p=0,013$) була більшою, ніж в більш старшій II групі ($4,05 \pm 1,00$). Така різниця обумовлена тим, що в молодшій групі у 2 пацієнтів 3 років та 2 у віці 7 років спостерігали індекс деформації грудної клітки більше 8, причому асиметрична пласка та гран-каньйон (типів 2a2 та 2a3). Таких важких деформацій в групі II не відмічали.

Всім пацієнта до операції встановлювали епідуральний катетер на рівні Th6-7 або Th7-8, відповідно до проекції западіння передньої грудної стінки для адекватного розповсюдження анальгезуючого впливу препарату. В післяопераційному періоді пацієнти отримували постійну інфузію в епідуральний катетер розчину ропівокаїну 0,2% у дозі 0,2 мкг/кг/год. Також для знеболювання призначали внутрішньовенно парацетамол у дозі 15 мг/кг кожні 6 год та кетаролак у дозі 30 мг кожні 8 год. У разі оцінки болю за ВАШ ≥ 4 , пацієнти отримували епідуральний болюс у дозі 0,1 мл/кг ропівокаїну 0,2%, якщо, незважаючи на це, больовий синдром за ВАШ становив ≥ 4 бали, отримували додатково опіоїди (розчин промедолу в дозі 0,4 мг/кг підшкірно). Епідуральний катетер видаляли за 72-96 год після операції. Далі пацієнти до 4-5-ї доби після операції отримували внутрішньовенно парацетамол у дозі 15 мг/кг кожні 6 год та кетаролак у дозі 30 мг кожні 8 год, після чого переводилися на пероральне застосування ібупрофену в дозі 10 мг/кг кожні 6-8 год.

Корекцію деформації грудної клітки виконували по Nuss за допомогою 1 загрудинної пластини з поперечними стабілізаторами чи конструкції «міст». Частота використання типу фіксатору в групах наведено в табл. 7.3.

Таблиця 7.3

Частота встановлення різних типів конструкцій у пацієнтів.

Група	Фіксатор (абс (%))		Різниця між групами χ^2 , p
	1 пластина	«Міст»	
I (n=27)	16 (59,3%)	11 (40,7%)	$\chi^2=12,632$; $p<0,001$
II (n=98)	23 (23,5%)	75 (76,5%)	
Всього (n=125)	39 (31,2%)	86 (68,8%)	

Частіше використовували фіксатор по типу «міст», який було встановлено у 86 (68,8 %) пацієнтів, переважно старшої вікової групи. В молодшій I групі перевагу віддавали встановленню 1 пластини – 16 (56,3 %), а в старшій II групі на долю системи «Міст» припадало 76,5 % (75 пацієнтів). Різниця між групами статистично значуща ($p < 0,001$).

Аналіз використання видів пластин при різних формах деформації грудної клітки наведено в табл. 7.4

В групі пацієнтів, яка досліджується, переважно використовувалась система «Міст» (86 (68,8 %) випадків). Різниці за частотою використання видів пластин між групами не має. В молодшій групі у 4 дітей у віці 3 та 5 років із асиметричною деформацією типів 2a1, 2a2 та 2a3 зі величиною більше 6 за Галером було встановлено по 1 пластині через малий вік пацієнтів та малу масу тіла.

Таблиця 7.4.

Використання кількості пластин при різних типах деформації груднини

Кількість пластин	Тип по Парк (абс (%))					Різниця між групами χ^2 , p
	1a	1b	2a1	2a2	2a3	
Одна (n=39)	25 (35,7%)	4 (33,3%)	6 (27,3%)	3 (20,0%)	1 (16,7%)	$\chi^2=2,315$ p=0,678
«Міст» (n=86)	45 (64,3%)	8 (66,7%)	16 (72,7%)	12 (80,0%)	5 (83,3%)	
Всього (n=125)	70 (100,0%)	12 (100,0%)	22 (100,0%)	15 (100,0%)	6 (100,0%)	

Враховуючи це, можна вважати, що вибором між однією пластиною та системою «міст» є наявність сильної асиметричної деформації, але при цьому необхідно враховувати вік пацієнта та його конституцію.

Серед пацієнтів I молодшої групи систему «міст» встановлювали діткам до 10 років з вираженою деформацією по Галлеру більше 7. У пацієнтів старше, встановлення подвоєної системи проводилося частіше. При асиметричних деформаціях всіх типів система «міст» встановлювалась у 30 з 34 (88,2 %) пацієнтів старше 10 років.

7.2 Оцінка відповідності Індекса Галлера за даними КТ та рентгенографії.

Для визначення можливості використання Chest X-Ray index (далі Рентгенографічний індекс Галлера) за даними рентгенографічного дослідження на заміну індексу Галлера, який розраховується за КТ, нами було проведено аналіз різниці вимірюваних індексів. Для цього ми порівнювали означені індекси, які були отримані у пацієнтів одночасно за двома методами оцінки.

Для визначення величини різниці була оцінена абсолютна різниця між методами вимірювання ($\Delta|CT-Ro|$) (табл. 7.5).

Таблиця 7.5.

Середні значення індексу Галлера у пацієнтів з різними типами деформації по даним СТ і Ro та усереднена різниця

Деформація Тип по Парк	N	Індекс Галлера (CT)	Рентгенографічний індекс Галлера (Ro)	$\Delta CT-Ro $
		M±SD / min÷max		
Симетрична (1a)	23	3,79±0,71 3,00÷5,94	3,83±0,73 2,94÷6,05	0,16±0,14 0÷0,52
Симетрична пласка (1в)	6	4,28±0,95 3,20÷6,04	4,49±1,06 3,23÷6,30	0,24±0,22 0,03÷0,61
Асиметрична (2a1)	9	4,15±0,86 3,12÷5,90	4,20±0,78 3,13÷5,70	0,12±0,11 0,01÷0,30
Асиметрична пласка (2a2)	6	6,27±3,19 3,20÷12,10	6,20±3,13 3,26÷11,90	0,15±0,08 0,06÷0,26
Гранд-каньйон (2a3)	3	5,14±,20 4,92÷5,30	5,17±0,41 4,72÷5,50	0,17±,06 0,10÷0,20
Загальний індекс	48	4,32±1,51 3,00÷12,10	4,37±1,48 2,94÷11,90	0,16±0,14 0÷0,61

Величина деформації по індексу Галлера у пацієнтів з ЛДГК варіювалась від 2,94 до 12,10 у пацієнтів з по всім групам.

Загальна різниця між вимірюваннями індексу деформації становила в середньому ($0,16 \pm 0,14$) від 0 до 0,61, при цьому максимальна різниця у визначенні не перевищувала 0,6.

Через те, що пацієнтів з деякими формами деформації грудної клітки недостатньо для статистичного аналізу, пацієнтів поділено на 2 підгрупи – симетричною та асиметричною деформаціями. Результати статистичної різниці індексів наведені в табл. 7.6.

За даними проведеного статистичного аналізу було визначено, що між способами визначення індексу Галлера немає статистично значущої різниці. Треба відмітити особливість, що при визначенні індексу по рентгенограмах, ми отримували більший індекс, про що свідчить від'ємне значення різниці середніх, але це не впливає на якість визначення індексу.

Таблиця 7.6.

Результати аналізу різниці індексу Галлера за різними методами визначення

Деформація Код по Парк	Індекс Галлера (HI)	Рентгенографічний індекс Галлера (Ro)	Парні різниці	
			M $\pm$ SD	Paired T-test
Симетрична (1a, 1 в) (n=29)	3,89 $\pm$ 0,78	3,96 $\pm$ 0,83	-0,07 $\pm$,23	t=-1,778; p=0,086
Асиметрична (2a1, 2a2, 2a3) (n=18)	5,02 $\pm$ 2,08	5,03 $\pm$ 2,01	- 0,01 $\pm$,173	t=-0,220; p=0,829
Загальний індекс	4.32 $\pm$ 1.51	4.37 $\pm$ 1.48	- 0.05 $\pm$ 0.21	t=-1,635; p=0,109

Індекси між собою корелюють $r=0.990$, $p \ll 0,01$, що свідчить про значну їх узгодженість.

Можна припустити, що правильність визначення індексу залежить від точності визначення точок для вимірювання індексу, похибки укладання пацієнта як для КТ, так і для рентгенологічного дослідження, особливо при наявності деформацій хребта. Але різниця у величині індексу Галлера, яка становить менше

1, не впливає ані на планування оперативної корекції, ані на подальший результат лікування.

Таким чином, при неунеможливленні з якихось причин проведення КТ, можна використовувати визначення індексу Галлера по рентгенографічним відбиткам. Особливо це допоможе при контрольних вимірюваннях, коли КТ не проводять.

7.3 Оцінка ступеня корекції деформації в процесі проведення операції

В процесі проведення операції підйом грудної клітки в середньому здійснювався на $(38,7 \pm 13,1) \%$ від $14,6 \%$ до $76,6 \%$ в залежності від рівня деформації грудної клітки та можливості здійснити елевацію без ушкодження грудини. Середній рівень Галлера після елевації грудної клітки становив $(2,49 \pm 0,33)$ від 1,8 до 3,5. Не повне вирівнювання деформації при елевації грудини пов'язано зі значною, як правило асиметричною деформацією з індексом більше 5.)

Беручи до уваги передньо-задній розмір грудної клітки, в процесі хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки за Насс, елевацію передньої грудної стінки здійснювали на $(38,7 \pm 13,1) \%$ від $14,6 \%$ до $76,6 \%$ в залежності від типу деформації та віку пацієнта.

Були оцінені операційні показники, такі як час операції та крововтрата (табл. 7.7)

Таблиця 7.7

Оцінка операційних показників

Вікова група	Тип фіксатору	Час операції, хв	Крововтрата. мл
І група (до 12 років)	Одна пластина	$42,5 \pm 8,1$	$25,3 \pm 13,4$
	«Міст»	$54,8 \pm 15,8$	$24,6 \pm 14,2$
	Стат.значущість різниці (p, t)	$t=-2,166$; $p=0,046$	$t=0,143$; $p=0,888$
ІІ група (старше 12 років)	Одна пластина	$67,3 \pm 13,9$	$28,7 \pm 21,3$
	«Міст»	$59,8 \pm 15,7$	$18,3 \pm 11,6$
	Стат.значущість різниці (p, t)	$t=1,766$; $p=0,084$	$t=3,020$; $p=0,003$

У I віковій групі при встановленні конструкції з однієї пластини середній термін операції ($42,5 \pm 8,1$) хв статистично значущо ($p=0,046$) був меншим, ніж при встановленні подвійного фіксатору ($54,8 \pm 15,8$) хв. У той же час в II групі на встановлення фіксатору по типу «Міст» витрачалося менше часу ($59,8 \pm 15,7$) хв, ніж при встановленні однієї пластини ($67,3 \pm 13,9$) хв. Це пов'язано з тим, що при встановленні пластини витрачається більше часу на кріплення конструкції, тоді як система «Міст» не передбачає кріплення фіксатору до реберного каркасу. Систему «Міст» у дітей молодшої групи встановлювали виключно при важких деформаціях, що збільшувало час втручання.

По крововтраті, в першій групі не було визначено значущої різниці при встановленні різних конструкцій, а у II групі, було визначено, що при встановленні системи «Міст» крововтрата становила в середньому ($18,3 \pm 11,6$) мл, що значущо ($p=0,003$) менше, ніж при встановленні 1 пластини ($28,7 \pm 21,3$) мл. Така різниця узгоджується з часом операції при встановленні різних типів коригувальних систем.

На час написання цього звіту, лікування пройшли 71 пацієнт, з яких 37 мали встановлену одну коригуючу пластину та 34 – із системою «Міст». Було проаналізовано ступінь збереження корекції деформації після видалення коригуючих пластин (табл. 7.8)

Таблиця 7.8

Ступінь збереження корекції після видалення коригувальних пластин

Вид фіксації	Індекс Галлера ($M \pm SD$)		
	Перед видаленням конструкції	Після видалення конструкції	Відсоток зміни
1 пластина	$2,35 \pm 41$ $1,70 \div 3,20$	$2,41 \pm 40$ $1,80 \div 3,30$	$-2,95 \pm 3,95$ $-15,79 \div 0,00$
«Міст»	$2,41 \pm 0,36$ $1,73 \div 3,45$	$2,43 \pm 35$ $1,80 \div 3,50$	$-1,04 \pm 2,94$ $-16,67 \div 0,00$
Стат.значущість різниці (t, p)	$t=-0,683$ $p=0,497$	$t=-0,0230$ $p=0,819$	$t=-2,320$ $p=0,023$

Перед видаленням фіксатору незалежно від її типу, у пацієнтів індекс Галлера залишкової деформації становив ($2,35 \pm 0,41$) при діапазоні від 1,7 до 3,2 при фіксації 1 пластиною і ($2,41 \pm 0,36$) – від 1,73 до 3,45 при фіксації системою «Міст». Різниці між групами за цим параметром не виявлена ($p=0,497$). Після видалення пластин, у деяких пацієнтів спостерігалось незначна втрата корекції. В групі з однією пластиною рівень втрати корекції становив в середньому ($2,95 \pm 3,95$) %, в групі з системою «Міст» - ($1,04 \pm 2,94$) %, що статистично значущо менше ($p=0,023$). Відмітимо, що у 19 (43,2 %) пацієнтів з однією пластиною і у 23 (67,6 %) із системою «Міст» після видалення пластин змін у ступені досягнутої корекції не виникало.

На момент написання роботи конструкція була видалена у 70 дітей – в I групі у 22, у II групі – у 48 пацієнтів. Термін фіксації становив в середньому ($3,0 \pm 0,5$) року від 1,5 до 3,4 років у I групі і ($2,9 \pm 0,6$) років від 0,9 до 4,7 років у II групі. Різниці між термінами фіксації між групами не було ($p=0,955$)

7.4 Оцінка ускладнень

Основними ускладненням лікування ЛДГК за Насс є нестабільність конструкції, таких як ротація пластини, нестабільність та злам фіксації та термінове видалення конструкції, пов'язане з непереносимістю та стійким тривалим больовим синдромом. Результати аналізу ускладнень, пов'язаних з конструкцією (табл. 7.9).

За результатами оцінки ризиків розвитку ускладнень при коригуванні ЛДГК виникає при використанні однієї пластини (всього 10 (25,6 %) випадків). Поломка серкляжного кріплення відмічено у 4 (10,2 %) осіб, ротація пластин також у 4 (10,2 %).

Таблиця 7.9

Ризик ускладнень які призводять до необхідності ревізійних оперативних втручань, видалення фіксатору або його елементів

Тип конструкції	Ускладнення				Оцінка ризику	
	Поломка серкляжа	Ротація пластин	Необхідність передчасного видалення конструкції або її компонентів	Всього ускладнень	OR	RR±S 95%CI
Одна пластина (n=39)	4	4	2	10	0,256	7,350±0,629 [2,141; 25,236]
«Міст» (n=86)	-	-	3	3	0,035	

Термінове або передчасне видалення конструкції або її компонентів, у пацієнтів з однією пластиною пов'язано з випинанням кріплення 2 (5,1 %) або стійким і тривалим больовим синдромом у пацієнтів з конструкцією «Міст» (3 (3,5 %)). Передчасне видалення конструкції або її компонентів у групи пацієнтів з фіксатором по типу «Міст» було у 3-х пацієнтів (3 (3,5%)), з них у 2-х пацієнтів через гіперкорекцію деформації з формуванням кілеподібної деформації, у 1 пацієнта видалено латеральну стабілізуючу планку у зв'язку із запаленням післяопераційної рани. В групі пацієнтів з однією загридинною пластиною передчасне видалення фіксатору проводилось в 2-х випадках 2 (5,1 %) через нестабільність конструкції, випинанням бокового кріплення та тривалим больовим синдромом.

Отже, за даними аналізу абсолютний ризик (OR) виникнення ускладнень, пов'язаних з конструкцією при використанні однієї пластини становить 0,256, при використанні конструкції «Міст» OR дорівнює 0,035. Відносний ризик (RR±S) становить (7,350±0,629), 95% CI [2,141; 25,236], що показує помітний, у сім разів більший ризик розвитку ускладнення нестабільності конструкції при використанні однієї пластини.

Ускладнення, такі як пневмогемоторакс та плеврити, спостерігалися у 6 пацієнтів (табл. 7.10)

Таблиця 7.10

Ризик виникнення ускладнень плевральної порожнини

Тип конструкції	Ускладнення			Оцінка ризику	
	Пневмо- і гемоторакс	Плеврит	Всього	OR	RR±S 95%CI
Одна пластина (n=39)	2	-	2	0,051	1,103±0,844 [0,211; 5,768]
«Міст» (n=86)	2	2	4	0,047	

За даними статистичного аналізу виникнення ускладнень плевральної порожнини не високий OR~0,05 і однаковий для обох методів корекції.

Віддаленими ускладненням після встановлення коригувальної системи є гіперкорекція (Клінічний приклад 8, рис.7.1) та рецидив деформації (табл. 7.11)

Таблиця 7.11

Визначення ризику виникнення рецидиву деформації та гіперкорекції

Тип конструкції	Ускладнення			Оцінка ризику	
	Гіперкорекція	Рецидив деформації	Всього	OR	RR±S 95%CI
Одна пластина (n=22)	1	2	3	0,136	3,273±0,867 [0,588; 18,214]
«Міст» (n=48)	2	0	2	0,042	

Клінічний приклад 8. Пацієнт К., 11 років, історія хвороби №371 (2019 р.) поступив у відділення з діагнозом лілкоподібна деформація грудної клітки, індекс Галлера 7,4. Пацієнту рекомендовано оперативне лікування: малоінвазивна реконструкція лілкоподібної деформації грудної клітки по Nuss з торакоскопічною асистенцією (рис. 7.1).

Через 2 роки після первинної операції у пацієнта виник рецидив деформації, гіперкорекція, кілеподібна деформація грудної клітки (рис 7.1, б, в). Проведено видалення фіксаторів та відкриту реконструкцію грудної по Равічу (рис. 7.1, г).

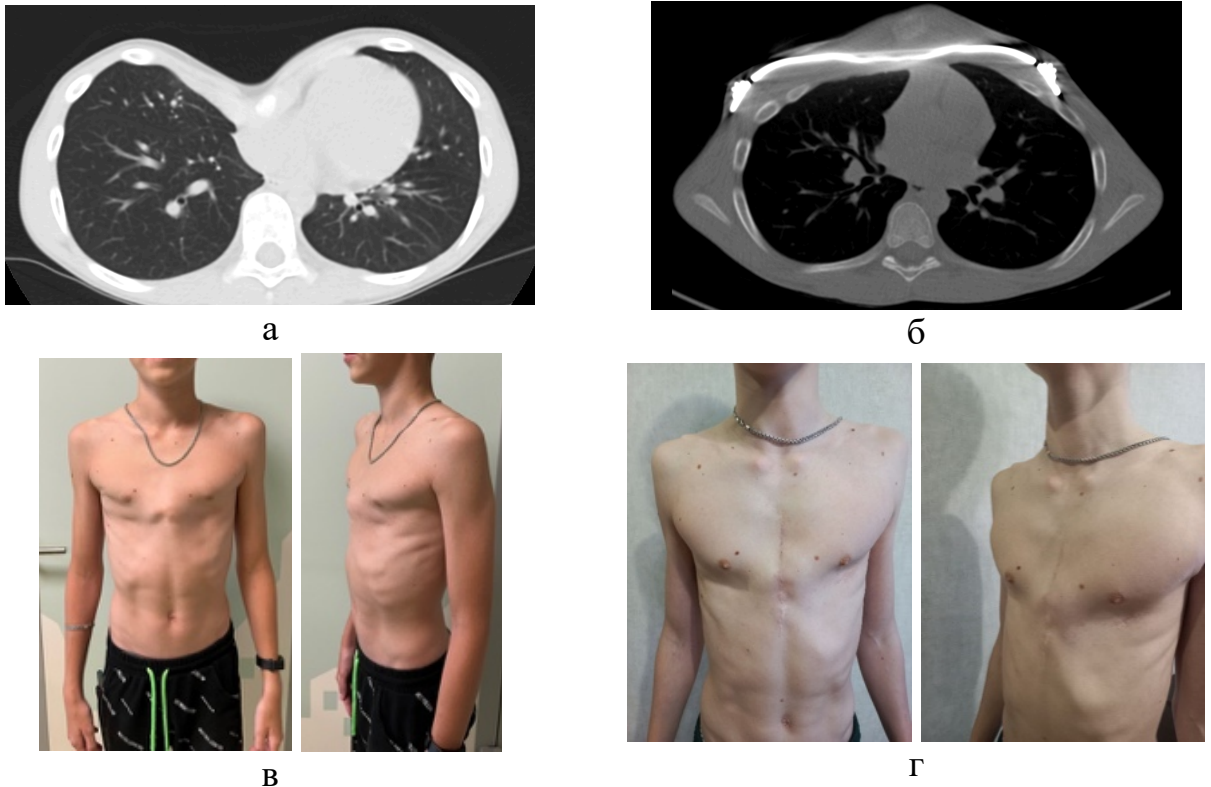


Рис. 7.1. Пацієнт К., 11 років Симетрична деформація, медіальне проведення фіксатору з виникненням ускладнення у вигляді гіперкорекції грудної клітки (кілеподібна деформація грудної клітки)

а) Фотовідбиток КТ до оперативного втручання

б) Фотовідбиток КТ через 2 роки після оперативного втручання (виникнення гіперкорекції)

в) Зовнішній вигляд через 2 роки після оперативного втручання (виникнення гіперкорекції)

г) Зовнішній вигляд після видалення фіксаторів з грудної клітки та проведення відкритого реконструктивного втручання по Равіч.

Віддалені результати оцінені у 70 дітей. Ризик порушення корекції вище при використанні однієї пластини – $OR=0,136$, у порівнянні з корекцією подвійним фіксатором (система міст) – $OR=0,042$, що в 3,2 рази менше. Відносний ризик становить $3,273 \pm 0,867$ при 95%CI [0,588; 18,214].

Загальний ризик виникнення ускладнень без урахування методу корекції малоінвазивним методом становить 0,192. За даними Rajić M et al, ризик ускладнень за аналогічними методами становить 0,28 [106]. Помітно менший ризик ускладнень приводить у своєму огляді Park H.J et al [115], але треба відмітити що крім торакоскопічного контролю та елевачії грудної клітки, автори

використовували спеціальні фіксатори по типу «Міст» та «Сендвіч»-систем, що практично виключало ризик зміщення конструкції.

7.5 Оцінка результатів лікування

Для визначення рівня задовільності зовнішнім виглядом та функціональним результатом у дітей до та після лікування, 42 пацієнти були анкетовані за адаптованим опитувальником Lawson. «Задоволеність /Функціональний результат» [79]. Опитувальник складається з 10 питань, які стосуються відношення до зовнішнього вигляду, оцінка психологічного стану з приводу зовнішнього вигляду та оцінки функціональності, пов'язаною з захворюванням. Загальний бал розраховується зворотнім кодуванням як середнє балів. Оцінювання балів проводиться пропорційно наступній градації: 1 - 0; 2 - 33,3 %; 3 - 66,7 %; 4=100 %. Анкетування пацієнтів проводили на початку лікування, через 3 місяці після встановлення коригувальної системи та через 1 рік після хірургічного втручання.

Для хірургічного лікування ЛДГК за методом Насс використовували одну коригувальну пластину (14 пацієнтів) або систему «Міст» з двома пластинами (28 осіб). Аналіз проводили як для загальної оцінки стану, так і для кожного пункту опитувальника окремо.

Результати аналізу оцінки пацієнтом зовнішнього «вигляду в загальному», (в одязу), представлені в табл. 7.12

Таблиця 7.12

Аналіз зміни оцінки задоволеності зовнішнім виглядом
в одязі «Вигляд в загальному»

Період спостереження	Тип фіксації	Дуже задовільний	Задовільний	Незадовільний	Дуже незадовільний	Різниця між групами (V_{kr} , p)
до операції	Одна пластина (n=14)		5 (35,7%)	8 (57,1%)	1 (7,1%)	$V_{kr}=0,148$ $p=0,630$
	«Міст» (n=28)		8 (28,6%)	15 (53,6%)	5 (17,9%)	
	Всього (n=42)		13 (31,0%)	23 (54,8%)	6 (14,3%)	-
Через 3 місяці	Одна пластина (n=14)	12 (85,7%)	2 (14,3%)			-
	«Міст» (n=28)	24 (85,7%)	4 (14,3%)			
	Всього (n=42)	36 (85,7%)	6 (14,3%)			
Через 1 рік	Одна пластина (n=14)	13 (92,9%)	1 (7,1%)			-
	«Міст» (n=28)	26 (92,9%)	2 (7,1%)			
	Всього (n=42)	39 (92,9%)	3 (7,1%)			

За даними аналізу, до операції коригування ЛДГК, 69,1 % пацієнтів були незадовільні своїм зовнішнім виглядом, навіть в одязі, 31 % були відносно задовільні («Задовільні» за анкетой). Оцінка зовнішнім виглядом до операції була статистично однаковою у дітей, яким планували встановлення однієї пластини, або конструкції «Міст» ($p=0,541$). Через 3 місяці після операції, коли пацієнти вже адаптувалися до конструкції, опитування показали загальне задоволення зовнішнім виглядом при обох видах корекції. Незадовільних оцінок не було. Різниці між видами коригування деформації не визначено ($p=0,773$).

Через 1 рік за даними анкетування у пацієнтів збільшилась кількість оцінок з «Задовільний» на «Дуже задовільний», але загальна оцінка в групах статистично значущо не відрізнялась ($p=0,555$).

Аналіз результатів анкети по пункту задоволеність виглядом тіла «Без футболки (одягу)» наведено в табл. 7.13.

Таблиця 7.13

Аналіз зміни оцінки задоволеності зовнішнім виглядом
без одягу «Вигляд без футболки»

Період спостереження	Тип фіксації	Дуже задовільний	Задовільний	Незадовільний	Дуже незадовільний	Різниця між групами (V_{kr} , p)
до операції	Одна пластина (n=14)			13 (92,9%)	1 (7,1%)	$V_{kr}=0,144$ $p=0,350$
	«Міст» (n=28)			23 (82,1%)	5 (17,9%)	
	Всього (n=42)			36 (85,7%)	6 (14,3%)	×
Через 3 місяці	Одна пластина (n=14)	11 (78,6%)	3 (21,4%)			-
	«Міст» (n=28)	22 (78,6%)	6 (21,4%)			
	Всього (n=42)	33 (78,6%)	9 (21,4%)			×
Через 1 рік	Одна пластина (n=14)	12 (85,7%)	2 (14,3%)			$V_{kr}=0,115$ $p=0,457$
	«Міст» (n=28)	26 (92,9%)	2 (7,1%)			
	Всього (n=42)	38 (90,5%)	4 (9,5%)			×

Вигляд свого тіла без одягу пацієнти оцінювали як «Трохи незадовільний» у 81,3 % випадків та «Дуже незадовільний» у 18,8 % випадках. Статистичної різниці в оцінках стану між групами з різними видами фіксації, що плануються, не визначено ($p=0,272$).

Через 3 місяці оцінки зовнішнього вигляду без одягу змістилися у «Дуже задовільний» (81,8 %) та «Задовільний» (18,8 %) зі без статистично значущої різниці в групах фіксації ($p=0,903$). Через 1 рік, збільшилась кількість пацієнтів, які оцінювали свій вигляд як «Дуже задовільний» до 93,8 %, і тільки 6,3 % дітей (по 1 в кожній групі фіксації) оцінили вигляд к «Задовільний». Статистичної різниці не виявлено ($p=0,555$).

Результати аналізу пункту анкети «Як ви відчуваєте себе, думаючи про те, що ваша грудна клітка залишиться такою, якою вона є зараз, на все життя» (табл. 7.14).

Таблиця 7.14

Аналіз зміни оцінки пункту анкети «Як ви відчуваєте себе, думаючи про те, що ваша грудна клітка залишиться такою, якою вона є зараз, на все життя»

Період спостереження	Тип фіксації	Дуже задовільний	Задовільний	Незадовільний	Дуже незадовільний	Різниця між групами (V_{kr} , p)
до операції	Одна пластина (n=14)			9 (64,3%)	5 (35,7%)	$V_{kr}=0,069$ $p=0,657$
	«Міст» (n=28)			16 (57,1%)	12 (42,9%)	
	Всього (n=42)			25 (59,5%)	17 (40,5%)	
Через 3 місяці	Одна пластина (n=14)	13 (92,9%)	1 (7,1%)			$V_{kr}=0,104$ $p=0,500$
	«Міст» (n=28)	24 (85,7%)	4 (14,3%)			
	Всього (n=42)	37 (88,1%)	5 (11,9%)			
Після лікування	Одна пластина (n=14)	12 (85,7%)	2 (14,3%)			$V_{kr}=0,316$ $p=0,040$
	«Міст» (n=28)	28 (100,0%)	0 (0,0%)			
	Всього (n=42)	40 (95,2%)	2 (4,8%)			

Очікуванням, що деформація грудної клітки залишиться на все життя були незадоволені всі пацієнти, 43,8 % з них були «Дуже незадоволені» цією перспективою. Різниця між групами не значуща ($p=0,212$). Вже через 3 місяці після 87,5 %, а через 1 рік 100 % пацієнтів оцінюють свій стан як «Дуже задовільний» для очікування повноцінного життя у подальшому. Різниця між групами на всіх етапах спостереження статистично не значуща.

На жаль в дитячому середовищі часто зустрічаються випадки булінгу, часто страждають діти саме із фізичними вадами. Оцінка таких випадків наведена в табл. 7.15.

Таблиця 7.15

Оцінка випадків булінгу «Діти знушаються над дитиною через грудну клітку»
в процесі лікування

Період спостереження	Тип фіксації	Ніколи	Іноді	Часто	Різниця між групами (V_{kr} , p)
до операції	Одна пластина (n=14)	5 (35,7%)	8 (57,1%)	1 (7,1%)	$V_{kr}=0,145$ $p=0,642$
	«Міст» (n=28)	14 (50,0%)	13 (46,4%)	1 (3,6%)	
	Всього (n=42)	19 (45,2%)	21 (50,0%)	2 (4,8%)	
Через 3 місяці	Одна пластина (n=14)	14 (100,0%)			$V_{kr}=0,158$ $p=0,306$
	«Міст» (n=28)	26 (92,9%)	2 (7,1%)		
	Всього (n=42)	40 (95,2%)	2 (4,8%)		
Через 1 рік	Одна пластина (n=14)	14 (100,0%)			
	«Міст» (n=28)	28 (100,0%)			
	Всього (n=42)	42 (100,0%)			

Дві дитини (4,8 %) до лікування часто підпадали під знушання, 21 (50 %) іноді стискалась з явищами булінгу. Вже через 3 місяців після операції тільки 2 дитини відмічали негативне відношення до себе, можливо через власні психологічні проблеми, які сформувалися раніше, до лікування. Через 1 рік діти не відмічали якогось негативного ставлення до себе з боку оточуючих.

Виражена деформація грудної клітки часто приводила до того, що діти або одягом, або прийняттям сутулої пози приховували ваду, особливо якщо ЛДГК супроводжувалась сколіотичною деформацією грудної клітки. Особливо це стосується дітей старшого віку, коли ставлення до зовнішнього вигляду стає

особливо гостро. Зміна відношення до свого зовнішнього вигляду, а саме намагання скрити грудну клітку наведені в табл.7.16.

Таблиця 7.16

Приховує грудну клітку						
Період спостереження	Тип фіксації	Ніколи	Іноді	Часто	Завжди	Різниця між групами (V_{kr} , p)
до операції	Одна пластина (n=14)		5 (35,7%)	9 (64,3%)		$V_{kr}=0,158$ $p=0,590$
	«Міст» (n=28)		9 (32,1%)	17 (60,7%)	2 (7,1%)	
	Всього (n=42)		14 (33,3%)	26 (61,9%)	2 (4,8%)	
Через 3 місяці	Одна пластина (n=14)	5 (35,7%)	9 (64,3%)			$V_{kr}=0,202$ $p=0,190$
	«Міст» (n=28)	16 (57,1%)	12 (42,9%)			
	Всього (n=42)	21 (50,0%)	21 (50,0%)			
Через 1 рік	Одна пластина (n=14)	8 (57,1%)	6 (42,9%)			$V_{kr}=0,069$ $p=0,653$
	«Міст» (n=28)	18 (64,3%)	10 (35,7%)			
	Всього (n=42)	26 (61,9%)	16 (38,1%)			

Так, до операції 2 (4,8 % від всіх пацієнтів) завжди приховували грудну клітку, це були діти старшого віку, 26 (61,9 %) дітей робили це часто, а 14 (33,3 %) іноді. Вже через 3 місяців після лікування тільки 50 % дітей іноді приховували свій вигляд. Через 1 рік кількість таких дітей знизилось до 38,1 %. Після коригування однією пластиною дітей, які все ж продовжували іноді соромитись свого вигляду було 6 (42,9 %), і після коригування системою «Міст» - 10 (35,7 %). Причиною може бути не повна корекція деформації грудної клітки або часткова її асиметрія.

Аналогічно стану пацієнтів щодо занепокоєння до вигляду грудної клітки наведені в табл. 7.17.

Таблиця 7.17

Занепокоєння через те, як виглядає грудна клітка

Період спостереження	Тип фіксації	Ніколи	Іноді	Часто	Завжди	Різниця між групами (V_{kr} , p)
до операції	Одна пластина (n=14)		5 (35,7%)	6 (42,9%)	3 (21,4%)	$V_{kr}=0,178$ $p=0,513$
	«Міст» (n=28)		6 (21,4%)	17 (60,7%)	5 (17,9%)	
	Всього (n=42)		11 (26,2%)	23 (54,8%)	8 (19,0%)	
Через 3 місяці	Одна пластина (n=14)	13 (92,9%)	1 (7,1%)			$V_{kr}=0,221$ $p=0,152$
	«Міст» (n=28)	28 (100,0%)	-			
	Всього (n=42)	41 (97,6%)	1 (2,4%)			
Через 1 рік	Одна пластина (n=14)	13 (92,9%)	1 (7,1%)			$V_{kr}=0,221$ $p=0,152$
	«Міст» (n=28)	28 (100,0%)	-			
	Всього (n=42)	41 (97,6%)	1 (2,4%)			

Більше 73,8 % пацієнтів оцінювали занепокоєність до вигляду грудної клітки часто або завжди, і тільки у 26,2 % занепокоєність щодо вигляду виникала іноді, переважно у дітей, яким пропонували встановлення однієї пластини 35,7 % (5 з 14 дітей).

Через рік після оперативного втручання, тільки 1 пацієнт після коригування однією пластиною повідомляв, що іноді його турбує вигляд грудної клітки. Інші пацієнти були задоволені своїм виглядом.

Вади зовнішнього вигляду сильно впливають на психологічний стан дитини, і з часом можуть викликати незворотні неврологічні та психічні розлади.

Тому урахування таких проявів є важливим аспектом успішного лікування не тільки основного захворювання, а також і підняття самооцінки дитини. Одним з проявів заниженої самооцінки є сором'язливість та невпевненість в собі через вади грудної клітки (табл. 7.18).

Таблиця 7.18

Почувається сором'язливим/невпевненим через грудну клітку

Період спостереження	Тип фіксації	Ніколи	Іноді	Часто	Різниця між групами (V_{kr} , p)
до операції	Одна пластина (n=14)		8 (57,1%)	6 (42,9%)	$V_{kr}=0,135$ $p=0,382$
	«Міст» (n=28)		12 (42,9%)	16 (57,1%)	
	Всього (n=42)		20 (47,6%)	22 (52,4%)	
Через 3 місяці	Одна пластина (n=14)	14 (100,0%)			
	«Міст» (n=28)	28 (100,0%)			
	Всього (n=42)	42 (100,0%)			
Через 1 рік	Одна пластина (n=14)	13 (92,9%)	1 (7,1%)		
	«Міст» (n=28)	28 (100,0%)			
	Всього (n=42)	41 (97,6%)	1 (2,4%)		

До лікування майже всі діти відчували невпевненість в собі, що пройшло у 97,6 % пацієнтів через рік після операції. Тільки пацієнт свідчив, що соромиться своєї грудної клітки.

Лійкоподібна деформація грудної клітки, як правило, не викликає помітних фізичних обмежень. Тільки складна зі значним індексом деформації патологія може викликати фізичні труднощі, наприклад - задишка при фізичному навантаженні, відчуття нестачі повітря, кашель, відчуття серцебиття, швидку втому, біль у м'язах спини, груди

За даними опитування 4 (9,5 %) дітей часто стискалися з проблемами при виконанні фізичних вправ, при тому 50,0 % дітей взагалі не відмічали ніяких труднощів при навантаженнях (табл. 7.19).

Таблиця 7.19

Має проблеми з фізичними вправами					
Період спостереження	Тип фіксації	Ніколи	Іноді	Часто	Різниця між групами (V_{kr}, p)
до операції	Одна пластина (n=14)	7 (50,0%)	6 (42,9%)	1 (7,1%)	$V_{kr}=0,061$ $p=0,926$
	«Міст» (n=28)	14 (50,0%)	11 (39,3%)	3 (10,7%)	
	Всього (n=42)	21 (50,0%)	17 (40,5%)	4 (9,5%)	
Через 3 місяці	Одна пластина (n=14)	2 (14,3%)	10 (71,4%)	2 (14,3%)	$V_{kr}=0,116$ $p=0,755$
	«Міст» (n=28)	4 (14,3%)	22 (78,6%)	2 (7,1%)	
	Всього (n=42)	6 (14,3%)	32 (76,2%)	4 (9,5%)	
Через 1 рік	Одна пластина (n=14)	7 (50,0%)	7 (50,0%)		$V_{kr}=0,492$ $p=0,001$
	«Міст» (n=28)	26 (92,9%)	2 (7,1%)		
	Всього (n=42)	33 (78,6%)	9 (21,4%)		

Наявність коригувальної системи на грудній клітці у 85,7 % пацієнтів викликала деякі обмеження при фізичних вправах, не значущо більше це відмічали діти із системою «Міст». Через 1 рік тільки 9 дітей скаржилися на втому при фізичних вправах, причому серед них 50 % дітей після коригування однією пластиною. Різниця статистично значуща ($p=0,001$).

На часті періоди задишки при фізичному навантаженні перед лікування ЛДГК скаржилися тільки 2 пацієнти, 24 (57,1 %) відмічали, що задишка з'являється іноді (табл. 7.20).

Грудна клітка викликала задишку

Період спостереження	Тип фіксації	Ніколи	Іноді	Часто	Завжди	Різниця між групами (V_{kr}, p)
до операції	Одна пластина (n=14)	6 (42,9%)	7 (50,0%)	1 (7,1%)		$V_{kr}=0,116$ $p=0,755$
	«Міст» (n=28)	10 (35,7%)	17 (60,7%)	1 (3,6%)		
	Всього (n=42)	16 (38,1%)	24 (57,1%)	2 (4,8%)		
Через 3 місяці	Одна пластина (n=14)	9 (64,3%)	5 (35,7%)			$V_{kr}=0,112$ $p=0,469$
	«Міст» (n=28)	21 (75,0%)	7 (25,0%)			
	Всього (n=42)	30 (71,4%)	12 (28,6%)			
Через 1 рік	Одна пластина (n=14)	14 (100,0%)				
	«Міст» (n=28)	28 (100,0%)				
	Всього (n=42)	42 (100,0%)				

Через 3 місяці після операції про те, що задишка трапляється іноді, відмічали 12 (28,6 %) пацієнтів. Через рік періодів задишки діти не відмічали.

Втома, як правило супроводжується задишкою, тому дані щодо розповсюдження цих симптомів корелюють (табл. 7.21).

За даними проведеного аналізу можна зробити висновки, що частіше, хоча статистично не значущо занепокоєння щодо свого зовнішнього вигляду проявляли діти, яким встановлювали систему «Міст». Це пояснюється частково тим, що у них була більше виражена деформація, і ці діти були старше 12 років, коли відношення до власного тіла набуває чи не головного занепокоєння.

Грудна клітка викликала втому у дитини

Період спостереження	Тип фіксації	Ніколи	Іноді	Часто	Різниця між групами (V_{kr} , p)
до операції	Одна пластина (n=14)	7 (50,0%)	6 (42,9%)	1 (7,1%)	$V_{kr}=0,078$ $p=0,880$
	«Міст» (n=28)	12 (42,9%)	13 (46,4%)	3 (10,7%)	
	Всього (n=42)	19 (45,2%)	3 (45,2%)	4 (9,5%)	
Через 3 місяці	Одна пластина (n=14)	10 (71,4%)	4 (28,6%)		$V_{kr}=0,038$ $p=0,804$
	«Міст» (n=28)	21 (75,0%)	7 (25,0%)		
	Всього (n=42)	31 (73,8%)	11 (26,2%)		
Через 1 рік	Одна пластина (n=14)	14 (100,0%)			
	«Міст» (n=28)	28 (100,0%)			
	Всього (n=42)	42 (100,0%)			

Молодші діти ще не повністю розуміли відношення до вигляду тіла, і вада турбували більше батьків, ніж самих дітей. Фізична активність у більш старших дітей також була більшою, тому і прояви фізичних труднощів старші діти відмічали частіше.

На фізичні показники впливає ступінь деформації, при важкій ваді відмічаються і задишки, і швидка втома і утруднення дихання. Ми не аналізували ступінь фізичних труднощів від ступеня важкості деформації, але ведення дітей від операції до терміну одного року після втручання свідчать про такі висновки.

Дані опитувальника були переведені у дані психо-фізичної обмеженості. Результати наведені на рис. 7.1.

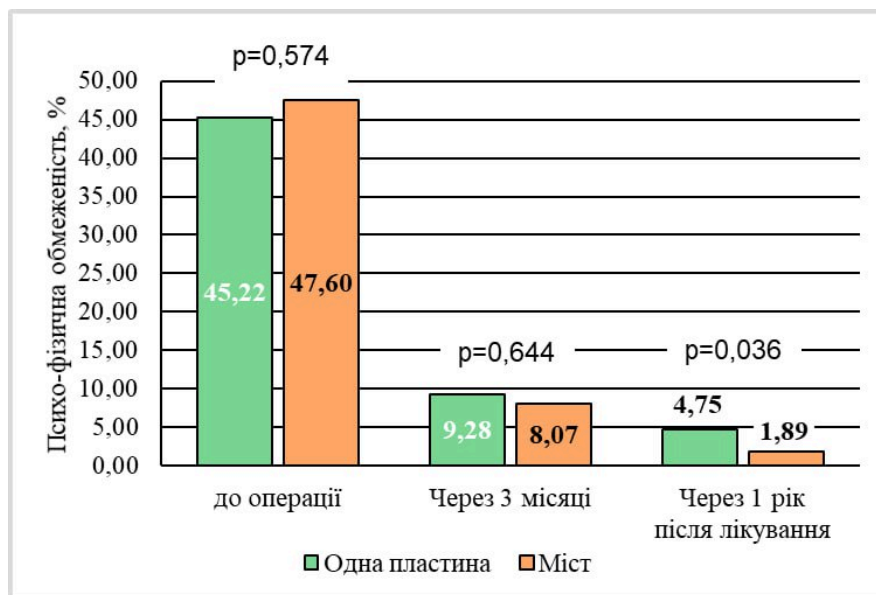


Рис. 7.1. Діаграма зміни рівня психо-фізичного обмеження.

Як показав аналіз, до лікування у пацієнтів відмічали зниження психо-фізичних даних до 50 % без помітної різниці ($p=0,574$) між групами коригування деформації. Вже через 3 місяці після операції у дітей значущо знизилися обмеження як у фізичному відношенні, так і психологічна оцінка власного тіла, різниця також не значуща ($p=0,644$). Через 1 рік у пацієнтів, яким було встановлено «Міст» практично не відмічали обмежень як фізичних, так і психологічних (1,89 бали обмеження). У пацієнтів, яким коригування проводили р=однією пластиною, обмеження були трохи більшими, але не перевищували 10 %. Різниця була статистично значущою ($p=0,036$) на користь системи «Міст».

За матеріалами розділу опубліковано:

[80] Levytskyi A, Godik O, Bebeshko O, Diehtiarova D, **Pylypko V** «Single-Center experience of pectus excavatum surgical repair in comparison between three groups of different surgical techniques» 21 Virtual Congress “Chest Wall International Group” (12-13 & 19-20 November, 2020).

[10] Левицький А.Ф., Пилипко В.М., Годік О.С., Бебешко О.В. Медико-соціальні аспекти реабілітації пацієнтів при використанні малоінвазивних методик хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки. XV Конгрес педіатрів України 12-13 жовтня 2021. Міжнародний журнал педіатрії, акушерства та гінекології. 2021; 14 (1): 71

ВИСНОВКИ

1. Перевагою методу Nuss є зменшення часу втручання до 50-80 хв. у порівнянні з операцією Равича – від 90 хв до 4 годин. Різниця виникнення ускладнень між методами Равича та Nuss є мінімальною ($\log RR = 0,09$), але виконання малоінвазивних втручань може супроводжуватись серйозними ускладненнями, що призводять до реоперації.

2. За допомогою запропонованої математичної моделі системи «грудна клітка-фіксатор» визначено, що при використанні короткої пластини для корекції ЛДГК найбільші за величиною напруження 22,0 МПа виникають в грудині. Максимальні напруження на ребра становлять 11,4 МПа. Напруження на пластині сягають 50,1 МПа. Використання довгої пластини знижує величини напружень в грудині вдвічі до 11,2 МПа та максимальний рівень напружень на ребра до 10,7 МПа. На пластині напруження знижуються до 42,7 МПа.

При корекції ЛДГК коротким фіксатором по типу «Міст», в порівнянні з моделлю з однією короткою пластиною, спостерігається зниження рівня напружень на грудині до 3,8 МПа. Напруження на ребрах, на які спираються кінці пластин, становлять 7,3 МПа та 7,0 МПа. Значне зниження напружень спостерігається на пластинах до 25,0 МПа та 27,0 МПа. Збільшення довжини пластин дозволяє знизити рівень напружень на всіх елементах моделі.

Після виконання оперативного втручання може відбуватися одномоментна втрата корекції. Максимальне переміщення мечоподібного виростка при використанні короткої пластини може сягати 6,0 мм, при використанні довгої пластини зміщення зменшується до 5,0 мм. Застосування фіксатору по типу «Міст» зменшує переміщення мечоподібного виростка до 4 мм та 3 мм для короткого та довгого фіксаторів, відповідно.

За результатами біомеханічних досліджень доведена перевага подвійного фіксатору по типу «Міст». Медіальне проведення фіксатору мають більші корегуючі зусилля на передню грудну стінку при елевації, що варто врахувати

при виборі методики корекції. Однак латеральне проведення фіксатору розподіляє коригуючий вплив за площею, і тим самим забезпечують значно нижчий (в 3 рази) рівень напружень в кістковій тканині.

3. Підвищено безпечність проведення хірургічної корекції ліycopодібної деформації з використанням інтраопераційної елевації передньої грудної стінки. Розроблено фіксатор по типу «Міст» (патент на корисну модель №145159 UA), який дозволяє досягти стійкого ефекту корекції за рахунок збільшення площі дії фіксатора, та конструктивно унеможливорює ротацію фіксатора.

4. На основі результатів аналітичних, біомеханічних та клінічних досліджень розроблено тактику лікування ліycopодібної деформації грудної клітки шляхом малоінвазивної корекції ЛДГК, в залежності від віку, ступеню та типу деформації та використання стабільного фіксатору типу «Міст».

5. За даними аналізу результатів лікування пацієнтів було визначено, що до лікування у пацієнтів відмічали зниження психо-фізичних даних до 50 %. Через 1 рік у пацієнтів, яким було встановлено «Міст» не відмічено обмежень як фізичних, так і психологічних (1,89 % обмеження). У пацієнтів, яким корекція проводилась однією пластиною, обмеження були більшими і становило 9,97 %. Аналіз вказує статистично значущою ($p=0,036$) різницю на користь системи «Міст».

6. Елевація грудної клітки під торакоскопичним контролем та використання фіксатору по типу «Міст» дозволило знизити ризик зміщення конструкції до 0,035, що в 7 разів менше, ніж при використанні однієї пластини – 0,256 та на 48% менше ніж за даними літератури – 0,067. Загальний ризик розвитку ускладнень при виконанні корекції за Нассом, становив 0,192, що менше на 35% ніж за даними літератури 0,295.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Березовский ВА, Колотилов НН. Биофизические характеристики тканей человека: Справочник. Киев: Наукова думка. 1990. 224 с.
2. Гнатюк В. Вступ до R на прикладах. Харків, 2010. 101 с
3. Головаха МЛ, Тяжелов АА, Летучая НП, Суббота ИА, Карпинский МЮ. Биомеханические аспекты экспериментального исследования функционального лечения С-образной сколиотической деформации позвоночника. *Травма*. 2019; 20 (3): 32-41. doi: 10.22141/1608-1706.3.20.2019.172091
4. Головаха МЛ, Тяжелов АА, Летучая НП, Суббота ИА, Карпинский МЮ. Биомеханические аспекты экспериментального исследования функционального лечения S-образной сколиотической деформации позвоночника. *Травма*. 2018; 19 (1): 58-68. doi: 10.22141/1608-1706.1.19.2018.126661.
5. Дігтяр ВА, Камінська МО, Мохов ОІ, Коваль СВ. Досвід хірургічного лікування лійкоподібної деформації грудної клітки у дітей. *Paediatric Surgery Ukraine*. 2018; 1(58):81-84. Doi: 10.15574/PS.2018.58.81
6. Камінська МО, Дігтяр ВА, Карпінський МЮ, Шульга ДІ. Характеристика параметрів серкляжного дроту при реконструкції кілеподібної деформації грудної клітки. *Травма*, 2022; 23(3), 29–35. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.3.23.2022.897>
7. Карпінська ОД, Левицький АФ, Пилипко ВМ. Метааналіз процедур Ravitch та Nuss для лікування лійкоподібної деформації грудної клітки у дітей та підлітків. *Ортопедія, травматологія та протезування*. 2024. 1: 63-71. DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-598720241>
8. Левицький АФ, Пилипко ВМ, Годік ОС, Бебешко ОВ. Еволюція методик хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки в дітей:

одноцентровий досвід. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 2021; 4(73): 38-43. doi: 10.15574/PS.2021.73.38

9. Левицький АФ, Пилипко ВМ, Годік ОС, Бебешко ОВ. Малоінвазивна хірургічна корекція лійкоподібної деформації у підлітків: практичні поради щодо запобігання можливим ускладненням. Об'єднання науки та практики: до 85-річного ювілею кафедри дитячої хірургії: науково-практична конференція з міжнародною участю (18-19 травня 2023. Одеса). Одеса, 2023: 195.

10. Левицький АФ, Пилипко ВМ, Годік ОС, Бебешко ОВ. Медико-соціальні аспекти реабілітації пацієнтів при використанні малоінвазивних методик хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки. XV Конгрес педіатрів України 12-13 жовтня 2021. Міжнародний журнал педіатрії, акушерства та гінекології. 2021; 14 (1): 71

11. Левицький АФ, Пилипко ВМ, Карпінський МЮ, Яресько ОВ. Дослідження коригуючого впливу різних типів фіксаторів на лійкоподібну деформацію грудної клітки при операції Nuss. *Травма*. 2023; 24(3): 45-53. DOI: 10.22141/1608-1706.3.24.2023.954

12. Левицький АФ, Пилипко ВМ, Карпінський МЮ. Біомеханіка взаємодії фіксатору та елементів передньої грудної стінки при мініінвазивній корекції лійкоподібної деформації грудної клітки. III міжнародна фахова школа для дитячих лікарів хірургічних спеціальностей: «Рух в майбутнє вже сьогодні. Step by step» (8-10 грудня, 2023, Львів).

13. Патент на корисну модель 145159 UA МПК А61В 17/00, А61В 17/68, А61В 17/70 (2006.01). Фіксатор для хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки у дітей / Левицький АФ; Пилипко ВМ; Годік ОС; Карабенюк ОВ; Буженко ВМ; Бебешко ОВ. (Патентовласник: Національний Медичний Університет ім. О.О. Богомольця). Заявка u202003530 від 11.06.2020. Опубл. 25.11.2020, бюл. № 22

14. Патент України на корисну модель №37059. МПК А61В17/56. Фіксатор для оперативної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки у дітей /

Левицький АФ, Терпиловський ЮР, Карабенюк ОВ. (Патентовласник: Національний медичний університет імені О.О. Богомольця). Заявка u200808979 від 19.07.2008. Опубл. 10.11.2008, бюл. № 21/2008.

15. Пилипко ВМ, Левицький АФ, Карпінський МЮ, Карпінська ОД, Яресько ОВ. Дослідження розподілу напружень в елементах грудної клітки при різних схемах корекції лікоподібної деформації груднини у дітей. *Ортопедія, травматологія та протезування*. 2023; (3): 28-35. DOI: <https://doi.org/10.15674/0030-59872023328-35>

16. Пилипко ВМ, Левицький АФ, Карпінський МЮ, Карпінська ОД, Яресько ОВ. Порівняльний аналіз напружено-деформованого стану грудної клітки при корекції лікоподібної деформації із застосуванням двох пластин: порівняння паралельного та схрещеного методів встановлення фіксаторів. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 2023; 3 (80): 40-49. doi: 10.15574/PS.2023.80.40.

17. Пилипко ВМ, Левицький АФ, Карпінський МЮ, Карпінська ОД. Експериментальні дослідження величини прогину пластини для корекції лікоподібної деформації грудної клітки під впливом згинаючого навантаження. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 2023; 1 (78): 35-41; doi: 10.15574/PS.2023.78.35

18. Писаренко ГС, Квітка ОЛ, Уманський ЕС. Опір матеріалів: Підручник. Київ: Вища школа. 2004. 655 с.

19. Радченко ВО, Попсуйшапка КО, Яресько ОВ. Дослідження напружено-деформованого стану моделі хребта за різноманітних методик хірургічного лікування вибухових переломів грудопоперекового відділу частина перша) // *Ортопедія, травматологія и протезирование*. 2017; 1: 27-33. DOI: <https://doi.org/10.15674/0030-59872017127-33>.

20. Стандарт ISO 5832-3:2021. Implants for surgery - Metallic materials - Part 3: Wrought titanium 6-aluminium 4-vanadium alloy (). 17 p.

21. Abu-Tair T, Turial S, Willershausen I, Alkassar M, Staatz G, Kampmann C. Evaluating Cardiac Lateralization by MRI to Simplify Estimation of Cardiopulmonary

Impairment in Pectus Excavatum. *Diagnostics (Basel)*. 2023;13(5):844. doi: 10.3390/diagnostics13050844

22. Acipayam A, Güllü UU, Güngör Ş. Cardiac anomalies in pediatric patients with pectus excavatum. *Rev Assoc Med Bras (1992)*. 2023; 69(7): e20221301. doi: 10.1590/1806-9282.20221301

23. Actis Dato GM, De Paulis R, Actis Dato A, Bassano C, Pepe N, Borioni R, Panero GB. Correction of pectus excavatum with a self-retaining seagull wing prosthesis. Long-term follow-up. *Chest*. 1995;107(2):303-6. doi: 10.1378/chest.107.2.303.

24. Adkins PC, Blades B. A stainless steel strut for correction of pectus excavatum. *Surg Gynecol Obstet*. 1961;113:111-3.

25. Akhtar M, Razick DI, Saeed A, Baig O, Kamran R, Ansari U, Sajid Z, Rahman JE. Complications and Outcomes of the Nuss Procedure in Adult Patients: A Systematic Review. *Cureus*. 2023;15(2):e35204. doi: 10.7759/cureus.35204

26. Antonoff MB, Erickson AE, Hess DJ, Acton RD, Saltzman DA. When patients choose: comparison of Nuss, Ravitch, and Leonard procedures for primary repair of pectus excavatum. *J Pediatr Surg*. 2009; 44(6):1113-1118. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2009.02.017

27. Boia ES, Popoiu MC, David VL, Nicodin A, Cozma G, Adam O, Trailesc M, Kovacs T, Milassin T, Tornyo S. Comparative analysis of modified Ravitch and minimal invasive Nuss procedures for the correction of pectus excavatum in children. *Jurnalul pediatriei*. 2010; 13 (13): 49-50

28. Bone mechanics handbook. Ed. by Stephen C. Cowin. March 15, 2001 by CRC Press Reference. 980 Pages.

29. Brochhausen C, Turial S, Müller FK, Schmitt VH, Coerdts W, Wihlm JM, Schier F, Kirkpatrick CJ. Pectus excavatum: history, hypotheses and treatment options. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2012;14(6):801-6. doi: 10.1093/icvts/ivs045

30. Cartoski MJ, Nuss D, Goretsky MJ, Proud VK, Croitoru DP, Gustin T, Mitchell K, Vasser E, Kelly RE Jr. Classification of the dysmorphology of pectus excavatum. *J Pediatr Surg*. 2006; 41(9): 1573-81. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2006.05.055
31. Chao J, Voces R, Peña C. Failure analysis of the fractured wires in sternal perichronal loops. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2011;4(7):1004-10. doi: 10.1016/j.jmbbm.2011.02.015.
32. Chen Z, Amos EB, Luo H, Su C, Zhong B, Zou J, Lei Y. Comparative pulmonary functional recovery after Nuss and Ravitch procedures for pectus excavatum repair: a meta-analysis. *J Cardiothorac Surg*. 2012;7:101. doi: 10.1186/1749-8090-7-101.
33. Chidambaran V, Garcia VF, Brown RL. Are We Ready for Cryoablation in Children Undergoing Nuss Procedures? *Anesth Analg*. 2022;134(4):881-884. doi: 10.1213/ANE.0000000000005857
34. Chu ZG, Yu JQ, Yang ZG, Peng LQ, Bai HL, Li XM. Correlation between sternal depression and cardiac rotation in pectus excavatum: Evaluation with helical CT. *AJR Am J Roentgenol*. 2010;195(1):W76-80. doi: 10.2214/AJR.09.3199
35. Coelho Mde S, Silva RF, Bergonse Neto N, Stori Wde S Jr, dos Santos AF, Mendes RG, Fernandes Lde M. Pectus excavatum surgery: sternochondroplasty versus Nuss procedure. *Ann Thorac Surg*. 2009;88(6):1773-1779. doi: 10.1016/j.athoracsur.2009.07.051.
36. 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*. 2002;37(3):437-45. doi: 10.1053/jpsu.2002.30851.
37. David VL. Current Concepts in the Etiology and Pathogenesis of Pectus Excavatum in Humans-A Systematic Review. *J Clin Med*. 2022;11(5):1241. doi: 10.3390/jcm11051241

38. Davis JT, Weinstein S. Repair of the pectus deformity: results of the Ravitch approach in the current era. *Ann Thorac Surg.* 2004;78(2):421-6. doi: 10.1016/j.athoracsur.2004.03.011.

39. de Carvalho RLC, Tedde ML, de Campos JRM, Hamilton NN, Guilherme GF, Sousa VM, Junior VFS, Savazzi FH, Pego-Fernandes PM. Quality of life outcomes after minimally invasive repair of pectus excavatum utilizing a new set of metallic bars and stabilizers. *J Pediatr Surg.* 2021;56(3):545-549. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2020.06.036. (Bostanci K)

40. de Loos ER, Daemen JHT, Coorens NA, Maessen JG, Vissers YLJ, Hulsewé KWE. Sternal elevation by the crane technique during pectus excavatum repair: A quantitative analysis. *JTCVS Tech.* 2021;9:167-175. doi: 10.1016/j.xjtc.2021.05.028

41. de Oliveira Carvalho PE, da Silva MV, Rodrigues OR, Cataneo AJ. Surgical interventions for treating pectus excavatum. *Cochrane Database Syst Rev.* 2014; 2014(10):CD008889. doi: 10.1002/14651858.CD008889.pub2

42. Dworzak J, Lamecker H, von Berg J, Klinder T, Lorenz C, Kainmüller D, Seim H, Hege HC, Zachow S. 3D reconstruction of the human rib cage from 2D projection images using a statistical shape model. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2010;5(2):111-24. doi: 10.1007/s11548-009-0390-2.

43. Everit BS. Skrondal A. The Cambridge Dictionary of Statistic. Ed.3. Cambridge University Press 2006. 480 p.

44. Fokin AA, Steuerwald NM, Ahrens WA, Allen KE. Anatomical, histologic, and genetic characteristics of congenital chest wall deformities. *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* 2009;21(1):44-57. doi: 10.1053/j.semtcvs.2009.03.001.

45. 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. doi: 10.1053/jpsu.2002.30852.

46. Fonkalsrud EW, Dunn JC, Atkinson JB. Repair of pectus excavatum deformities: 30 years of experience with 375 patients. *Ann Surg.* 2000;231(3):443-8. doi: 10.1097/00000658-200003000-00019.

47. Fonkalsrud EW, Mendoza J. Open repair of pectus excavatum and carinatum deformities with minimal cartilage resection. *Am J Surg*. 2006;191(6):779-84. doi: 10.1016/j.amjsurg.2005.12.012.

48. Fonkalsrud EW. 912 open pectus excavatum repairs: changing trends, lessons learned: one surgeon's experience. *World J Surg*. 2009;33(2):180-90. doi: 10.1007/s00268-008-9793-4.

49. Fonkalsrud EW. Current management of pectus excavatum. *World J Surg*. 2003;27(5):502-8. doi: 10.1007/s00268-003-7025-5.

50. Fournier A, Fron D, Bonnevalle M, Herbaux B, Mezel A, Nectoux E. Original bar fixation technique in minimally invasive repair of pectus excavatum in adolescents: A 36-case series. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2020;106(1):155-157. doi: 10.1016/j.otsr.2019.10.007

51. aik O, Levytskyi A, Pylypko V, Diehtiarova D. Single-Center Experience of Pectus Excavatum Surgical Repair. III Congress endosurgery «IPEG 2021 Annual Meeting» (11-14 june, 2021, Los Angeles)

52. Haller JA 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(10):904-6. doi: 10.1016/s0022-3468(87)80585-7

53. Hayashi A, Maruyama Y. Vascularized rib strut technique for repair of pectus excavatum. *Ann Thorac Surg*. 1992;53(2):346-8. doi: 10.1016/0003-4975(92)91350-i.

54. Hebra A, Swoveland B, Egbert M, Tagge EP, Georgeson K, Othersen HB Jr, Nuss D. Outcome analysis of minimally invasive repair of pectus excavatum: review of 251 cases. *J Pediatr Surg*. 2000;35(2):252-7; discussion 257-8. doi: 10.1016/s0022-3468(00)90019-8.

55. Hoffman E. Surgical treatment of pectus excavatum by costosternoplasty with marlex mesh. Technic and case report. *Am Surg*. 1966;32(4):261-5.

56. Horth L, Stacey MW, Proud VK, Segna K, Rutherford C, Nuss D, Kelly RE. Advancing our understanding of the inheritance and transmission of pectus excavatum. *J Pediatr Genet*. 2012;1(3):161-73. doi: 10.3233/PGE-2012-026..

57. Huddleston CB. Pectus excavatum. *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* 2004 Fall;16(3):225-32. doi: 10.1053/j.semtcvs.2004.08.003.
58. Hyun K, Park HJ. The Cross-Bar Technique for Pectus Excavatum Repair: A Key Element for Remodeling of the Entire Chest Wall. *Eur J Pediatr Surg.* 2023;33(4):310-318. doi: 10.1055/a-1897-7202.
59. Jacobsen EB, Thastum M, Jeppesen JH, Pilegaard HK. Health-related quality of life in children and adolescents undergoing surgery for pectus excavatum. *Eur J Pediatr Surg.* 2010;20(2):85-91. doi: 10.1055/s-0029-1243621.
60. Jaroszewski D, Notrica D, McMahon L, Steidley DE, Deschamps C. Current management of pectus excavatum: a review and update of therapy and treatment recommendations. *J Am Board Fam Med.* 2010;23(2):230-9. doi: 10.3122/jabfm.2010.02.090234
61. Jaroszewski DE, Ewais MM, Lackey JJ, Myers KM, Merritt MV, Stearns JD, Gaitan BD, Craner RC, Gotway MB, Naqvi TZ. Revision of failed, recurrent or complicated pectus excavatum after Nuss, Ravitch or cardiac surgery. *J Vis Surg.* 2016;2:74. doi: 10.21037/jovs.2016.03.17.
62. 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. doi: 10.1016/j.jtcvs.2013.09.049.
63. Jayaramakrishnan K, Wotton R, Bradley A, Naidu B. Does repair of pectus excavatum improve cardiopulmonary function? *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2013;16(6):865-70. doi: 10.1093/icvts/ivt045.
64. Jo WM, Choi YH, Sohn YS, Kim HJ, Hwang JJ, Cho SJ. Surgical treatment for pectus excavatum. *J Korean Med Sci.* 2003;18(3):360-4. doi: 10.3346/jkms.2003.18.3.360
65. Johnson WR, Fedor D, Singhal S. Systematic review of surgical treatment techniques for adult and pediatric patients with pectus excavatum. *J Cardiothorac Surg.* 2014;9:25. doi: 10.1186/1749-8090-9-25

66. Kanagaratnam A, Phan S, Tchantchaleishvili V, Phan K. Ravitch versus Nuss procedure for pectus excavatum: systematic review and meta-analysis. *Ann Cardiothorac Surg*. 2016;5(5):409-421. doi: 10.21037/acs.2016.08.06

67. Kang CH, Park S, Park IK, Kim YT, Kim JH. Long-term Surveillance Comparing Satisfaction between the Early Experience of Nuss Procedure vs. Ravitch Procedure. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg*. 2012;45(5):308-15. doi: 10.5090/kjtcs.2012.45.5.308

68. Kelly RE Jr, Cash TF, Shamberger RC, Mitchell KK, Mellins RB, Lawson ML, Oldham K, Azizkhan RG, Hebra AV, Nuss D, Goretsky MJ, Sharp RJ, Holcomb GW 3rd, Shim WK, Megison SM, Moss RL, Fecteau AH, Colombani PM, Bagley T, Quinn A, Moskowitz AB. Surgical repair of pectus excavatum markedly improves body image and perceived ability for physical activity: multicenter study. *Pediatrics*. 2008;122(6):1218-22. doi: 10.1542/peds.2007-2723.

69. Kelly RE Jr, Mellins RB, Shamberger RC, Mitchell KK, Lawson ML, Oldham KT, Azizkhan RG, Hebra AV, Nuss D, Goretsky MJ, Sharp RJ, Holcomb GW 3rd, Shim WK, Megison SM, Moss RL, Fecteau AH, Colombani PM, Cooper D, Bagley T, Quinn A, Moskowitz AB, Paulson JF. Multicenter study of pectus excavatum, final report: complications, static/exercise pulmonary function, and anatomic outcomes. *J Am Coll Surg*. 2013;217(6):1080-9. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2013.06.019

70. Kelly RE Jr, Shamberger RC, Mellins RB, Mitchell KK, Lawson ML, Oldham K, Azizkhan RG, Hebra AV, Nuss D, Goretsky MJ, Sharp RJ, Holcomb GW 3rd, Shim WK, Megison SM, Moss RL, Fecteau AH, Colombani PM, Bagley TC, Moskowitz AB. Prospective multicenter study of surgical correction of pectus excavatum: design, perioperative complications, pain, and baseline pulmonary function facilitated by internet-based data collection. *J Am Coll Surg*. 2007;205(2):205-16. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2007.03.027.;

71. Kelly RE Jr. Pectus excavatum: historical background, clinical picture, preoperative evaluation and criteria for operation. *Semin Pediatr Surg.* 2008;17(3):181-93. doi: 10.1053/j.sempedsurg.2008.03.002.

72. Khanna G, Jaju A, Don S, Keys T, Hildebolt CF. Comparison of Haller index values calculated with chest radiographs versus CT for pectus excavatum evaluation. *Pediatr Radiol.* 2010;40(11):1763-7. doi: 10.1007/s00247-010-1681-z

73. Kim JJ, Kim CK, Park HJ, Park JK, Moon SW, Moon YK, Kim HJ. Elevation of serum lactate dehydrogenase in patients with pectus excavatum. *J Cardiothorac Surg.* 2014;9:75. doi: 10.1186/1749-8090-9-75

74. Kotzot D, Schwabegger AH. Etiology of chest wall deformities--a genetic review for the treating physician. *J Pediatr Surg.* 2009;44(10):2004-11. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2009.07.029.

75. Koumbourlis AC. Pectus deformities and their impact on pulmonary physiology. *Paediatr Respir Rev.* 2015;16(1):18-24. doi: 10.1016/j.prrv.2014.10.009

76. Krasopoulos G, Dusmet M, Ladas G, Goldstraw P. Nuss procedure improves the quality of life in young male adults with pectus excavatum deformity. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2006;29(1):1-5. doi: 10.1016/j.ejcts.2005.09.018.

77. Kurowski PM. Engineering Analysis with COSMOSWorks 2007: SDC Publications. 2007: 263 s.

78. Lam MW, Klassen AF, Montgomery CJ, LeBlanc JG, Skarsgard ED. Quality-of-life outcomes after surgical correction of pectus excavatum: a comparison of the Ravitch and Nuss procedures. *J Pediatr Surg.* 2008;43(5):819-25. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2007.12.020

79. Lawson ML, Cash TF, Akers R, Vasser E, Burke B, Tabangin M, Welch C, Croitoru DP, Goretsky MJ, Nuss D, Kelly RE Jr. A pilot study of the impact of surgical repair on disease-specific quality of life among patients with pectus excavatum. *J Pediatr Surg.* 2003;38(6):916-8. doi: 10.1016/s0022-3468(03)00123-4.

80. Levytskyi A, Godik O, Bebeshko O, Diehtiarova D, Pylypko V «Single-Center experience of pectus excavatum surgical repair in comparison between three

groups of different surgical techniques» 21 Virtual Congress “Chest Wall International Group” (12-13 & 19-20 November, 2020).

81. Li Z, Kindig MW, Subit D, Kent RW. Influence of mesh density, cortical thickness and material properties on human rib fracture prediction. *Med Eng Phys.* 2010;32(9):998-1008. doi: 10.1016/j.medengphy.2010.06.015.

82. Lim BY, I H, Lee C. Biomechanical validation of novel Nuss procedure simulations for patients with various morphological types of pectus excavatum. *Front Bioeng Biotechnol.* 2023;11:1297420. doi: 10.3389/fbioe.2023.1297420

83. Liu RS, Cui FX, Li YJ, Yang T, Zhao L, Zhang XY, Chen XL, Ning XG, Peng J. Retrospectively analyze and compare the efficacy and safety of thoracoscopic-assisted Nuss repair of pectus excavatum under intubation anesthesia and non-intubation anesthesia. *J Thorac Dis.* 2022;14(10):4031-4043. doi: 10.21037/jtd-22-1150

84. Lopez M, Patoir A, Costes F, Varlet F, Barthelemy JC, Tiffet O. Preliminary study of efficacy of cup suction in the correction of typical pectus excavatum. *J Pediatr Surg.* 2016;51(1):183-7. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2015.10.003

85. Luo D, Cheng K, Yuan M, Xu C, He T. Efficacy and determinants of vacuum bell treatment in preschool children with pectus excavatum. *Front Pediatr.* 2022;10:1008437. doi: 10.3389/fped.2022.1008437

86. Luu TD, Kogon BE, Force SD, Mansour KA, Miller DL. Surgery for recurrent pectus deformities. *Ann Thorac Surg.* 2009; 88(5):1627-31. doi: 10.1016/j.athoracsur.2009.06.008.

87. Malek MH, Berger DE, Housh TJ, Marelich WD, Coburn JW, Beck TW. Cardiovascular function following surgical repair of pectus excavatum: a metaanalysis. *Chest.* 2006;130(2):506-16. doi: 10.1378/chest.130.2.506.

88. Malek MH, Berger DE, Marelich WD, Coburn JW, Beck TW, Housh TJ. Pulmonary function following surgical repair of pectus excavatum: a meta-analysis. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2006;30(4):637-43. doi: 10.1016/j.ejcts.2006.07.004.

89. Mao YZ, Tang S, Li S. Comparison of the Nuss versus Ravitch procedure for pectus excavatum repair: an updated meta-analysis. *J Pediatr Surg*. 2017;52(10):1545-1552. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2017.05.028
90. Marcovici PA, LoSasso BE, Kruk P, Dwek JR. MRI for the evaluation of pectus excavatum. *Pediatr Radiol*. 2011;41(6):757-8. doi: 10.1007/s00247-011-2031-5
91. Meyer L. Zur chirurgischen Behandlung der angeborenen Trichterbrust. *Berl Klin Wschr*. 1911;48: 1563–6.
92. Mohr M, Abrams E, Engel C, Long WB, Bottlang M. Geometry of human ribs pertinent to orthopedic chest-wall reconstruction. *J Biomech*. 2007;40(6):1310-7. doi: 10.1016/j.jbiomech.2006.05.017.
93. Molik KA, Engum SA, Rescorla FJ, West KW, Scherer LR, Grosfeld JL. Pectus excavatum repair: experience with standard and minimal invasive techniques. *J Pediatr Surg*. 2001;36(2):324-8. doi: 10.1053/jpsu.2001.20707.
94. Moon DH, Park CH, Moon MH, Park HJ, Lee S. The effectiveness of double-bar correction for pectus excavatum: A comparison between the parallel bar and cross-bar techniques. *PLoS One*. 2020;15(9):e0238539. doi: 10.1371/journal.pone.0238539
95. Mortellaro VE, Iqbal CW, Fike FB, Sharp SW, Ostlie DJ, Snyder CL, St Peter SD. The predictive value of Haller index in patients undergoing pectus bar repair for pectus excavatum. *J Surg Res*. 2011;170(1):104-6. doi: 10.1016/j.jss.2011.02.014
96. Nagaso T, Miyamoto J, Kokaji K, Yozu R, Jiang H, Jin H, Tamaki T. Double-bar application decreases postoperative pain after the Nuss procedure. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2010;140(1):39-44, 44.e1-2. doi: 10.1016/j.jtcvs.2009.12.027.].
97. Nasr A, Fecteau A, Wales PW. Comparison of the Nuss and the Ravitch procedure for pectus excavatum repair: a meta-analysis. *J Pediatr Surg*. 2010;45(5):880-6. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2010.02.012
98. 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;

99. Nuss D, Kelly RE Jr, Croitoru DP, Katz ME. A 10-year review of a minimally invasive technique for the correction of pectus excavatum. *J Pediatr Surg*. 1998;33(4): 545-52. doi: 10.1016/s0022-3468(98)90314-1.
100. Nuss D, Kelly RE Jr. The Minimally Invasive Repair of Pectus Excavatum. *Operative Techniques in Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2014; 19 (3): 324-347. Doi: 10.1053/j.optechstcv.2014.10.003.
101. Nuss D, Kuhn MA, Obermeyer RJ. Our approach: MIS repair of pectus excavatum. *Contemporary Surgery; Redondo Beach*. 2007; 63 (9): 444-446,449-451.
102. Nuss D, Obermeyer RJ, Kelly RE. Nuss bar procedure: past, present and future. *Ann Cardiothorac Surg*. 2016;5(5):422-433. doi: 10.21037/acs.2016.08.05.
103. Nuss D. Minimally invasive surgical repair of pectus excavatum. *Semin Pediatr Surg*. 2008;17(3):209-17. doi: 10.1053/j.sempedsurg.2008.03.003.
104. Nuss D. Recent experiences with minimally invasive pectus excavatum repair "Nuss procedure". *Jpn J Thorac Cardiovasc Surg*. 2005;53(7):338-44. doi: 10.1007/s11748-005-0047-1. PMID: 16095232.
105. Obermeyer RJ, Cohen NS, Kelly RE Jr, Ann Kuhn M, Frantz FW, McGuire MM, Paulson JF. Nonoperative management of pectus excavatum with vacuum bell therapy: A single center study. *J Pediatr Surg*. 2018; 53(6):1221-1225. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2018.02.088
106. Pajić M, Vidović D, Jokić R, Antić J, Čubrić N, Fratrić I, Bukarica S, Komarčević A, Milenković M. Comparison of the Standard vs. Thoracoscopic Extrapleural Modification of the Nuss Procedure-Two Centers' Experiences. *Children (Basel)*. 2022;9(4):557. doi: 10.3390/children9040557
107. Pan ZX, Wu C, He L, LI HB, Li YG. Pectus excavatum: Nuss procedure vs modified ravitch procedure. *Acta Acad Med Militaris Tertiae*. 2009; 31(14):1378-80
108. Papic JC, Finnell SM, Howenstein AM, Breckler F, Leys CM. Postoperative opioid analgesic use after Nuss versus Ravitch pectus excavatum repair. *J Pediatr Surg*. 2014;49(6):919-23; discussion 923. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2014.01.025

109. Park HJ, Jeong JY, Jo WM, Shin JS, Lee IS, Kim KT, Choi YH. 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.

110. Park HJ, Kim KS, Lee S, Jeon HW. A next-generation pectus excavatum repair technique: new devices make a difference. *Ann Thorac Surg.* 2015;99(2):455-61. doi: 10.1016/j.athoracsur.2014.08.026

111. 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.

112. Park HJ, Lee SY, Lee CS, Youm W, Lee KR. The Nuss procedure for pectus excavatum: evolution of techniques and early results on 322 patients. *Ann Thorac Surg.* 2004;77(1):289-95. doi: 10.1016/s0003-4975(03)01330-4.

113. Park HJ, Lee SY, Lee CS. Complications associated with the Nuss procedure: analysis of risk factors and suggested measures for prevention of complications. *J Pediatr Surg.* 2004;39(3):391-5. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2003.11.012.

114. Park HJ, Rim G, Yoon SK. Crane-powered pectus excavatum repair: the NeoPectus surgery. *Front Surg.* 2023;10:1267009. doi: 10.3389/fsurg.2023.1267009

115. Park HJ, Rim G, Yoon SK. Recent Advancements in Pectus Surgery: Crane Lifting, Multiple-Bar Approach, Bridge Stabilization, and Sandwich Technique, *Journal of Pediatric Surgery*, <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2023.12.012>

116. Park HJ, Rim G. Development of a Screw-Crane System for Pre-Lifting the Sternal Depression in Pectus Excavatum Repair: A Test of Mechanical Properties for the Feasibility of a New Concept. *J Chest Surg.* 2021; 54(3):186-190. doi: 10.5090/jcs.21.008

117. Park HJ. Minimally invasive surgery for pectus Excavatum: park technique. *J Clin Anal Med.* 2011; 2(3):84–90. doi: 10.4328/JCAM.518;

118. Poston PM, Patel SS, Rajput M, Rossi NO, Ghanamah MS, Davis JE, Turek JW. The correction index: setting the standard for recommending operative

repair of pectus excavatum. *Ann Thorac Surg.* 2014; 97(4):1176-9; discussion 1179-80. doi: 10.1016/j.athoracsur.2013.12.050.

119. Purrman KC, Ziazadeh D, Loria A, Jones C. Pectus Bar Displacement Causing Right Ventricular Outflow Tract Obstruction. *Ann Thorac Surg.* 2021; 112(4):e267-e270. doi: 10.1016/j.athoracsur.2020.10.059

120. Ravitch MM. The Operative Treatment of Pectus Excavatum. *Ann Surg.* 1949;129(4):429-444. doi: 10.1097/00000658-194904000-00002.

121. Robicsek F. Surgical treatment of pectus carinatum. *Chest Surg Clin N Am.* 2000;10(2):357-76, viii. PMID: 10803339.

122. Sauerbruch F. Operative Beseitigung der angeborenen Trichterbrust. *Dtsch Z Chir.* 1931;234(1):760–4

123. Scarci M, Raveglia F, Orlandi R. Pectus Excavatum and Carinatum. *Encyclopedia of Respiratory Medicine (Second Edition)*. 2022, Vol: 2: 134-148. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102723-3.00254-7>

124. Schwend RM, Schmidt JA, Reigut JL, Blakemore LC, Akbarnia BA. Patterns of Rib Growth in the Human Child. *Spine Deform.* 2015;3(4):297-302. doi: 10.1016/j.jspd.2015.01.007.

125. Shah SB, Hariharan U, Bhargava AK, Darlong LM. Anesthesia for minimally invasive chest wall reconstructive surgeries: Our experience and review of literature. *Saudi J Anaesth.* 2017;11(3):319-326. doi: 10.4103/sja.SJA_13_17

126. Shamberger RC. Cardiopulmonary effects of anterior chest wall deformities. *Chest Surg Clin N Am.* 2000;10(2):245-52, v-vi.

127. Sollie ZW, Gleason F, Donahue JM, Wei B. Evolution of technique and results after permanent open repair for pectus deformities. *JTCVS Tech.* 2022;12:212-219. doi: 10.1016/j.xjtc.2021.12.008

128. St Peter SD, Juang D, Garey CL, Laituri CA, Ostlie DJ, Sharp RJ, Snyder CL. A novel measure for pectus excavatum: the correction index. *J Pediatr Surg.* 2011;46(12): 2270-3. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2011.09.009

129. Sujka JA, St Peter SD. Quantification of pectus excavatum: Anatomic indices. *Semin Pediatr Surg.* 2018;27(3):122-126. doi: 10.1053/j.sempedsurg.2018.05.006
130. Tardy MM, Filaire M, Patoir A, Gautier-Pignonblanc P, Galvaing G, Kwiatkowski F, Costes F, Richard R. Exercise Cardiac Output Limitation in Pectus Excavatum. *J Am Coll Cardiol.* 2015;66(8):976-7. doi: 10.1016/j.jacc.2015.06.1087.
131. Tikka T, Kalkat MS, Bishay E, Steyn RS, Rajesh PB, Naidu B. A 20-year review of pectus surgery: an analysis of factors predictive of recurrence and outcomes. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2016;23(6):908-913. doi: 10.1093/icvts/ivw263
132. Toci GR, Davis TA, Bigelow BF, Yang SC. Analyzing Outcomes of Nuss and Ravitch Repair for Primary and Recurrent Pectus Excavatum in Adults. *Ann Thorac Surg.* 2020;110(1):272-275. doi: 10.1016/j.athoracsur.2019.12.012
133. Ugural AC, Fenster SK. Advanced Mechanics of Materials and Applied Elasticity: International Series in the Physical and Chemical Engineering Sciences. Prentice Hall, 2019: 752. ISBN 0134859367, 9780134859361
134. Vega-Artiles A'G, Pe'rez D, Martel O, Cuadrado A, Ya'nez A. Stiffness reduction of the rib cage to perform a minimally invasive pectus excavatum repair: biomechanical evaluation. *Interact CardioVasc Thorac Surg.* 2022;34:99–104. doi:10.1093/icvts/ivab210
135. Velazco CS, Arsanjani R, Jaroszewski DE. Nuss procedure in the adult population for correction of pectus excavatum. *Semin Pediatr Surg.* 2018;27(3):161-169. doi: 10.1053/j.sempedsurg.2018.05.002;
136. Wada J, Ikeda K, Ishida T, Hasegawa T. Results of 271 funnel chest operations. *Ann Thorac Surg.* 1970;10(6):526-32. doi: 10.1016/s0003-4975(10)65390-8.
137. Walsh J, Walsh R, Redmond K. Systematic review of physiological and psychological outcomes of surgery for pectus excavatum supporting commissioning of service in the UK. *BMJ Open Respir Res.* 2023;10(1):e001665. doi: 10.1136/bmjresp-2023-001665

138. Wang L, Bi R, Xie X, Xiao H, Hu F, Jiang L. A Modified Nuss Procedure for Recurrent Pectus Excavatum of Adults. *Front Surg.* 2022 Jan 26;8:814837. doi: 10.3389/fsurg.2021.814837.
139. World Medical Association. Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA.* 2013; 310(20): 2191-2194. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>.
140. Xie L, Cai S, Xie L, Chen G, Zhou H. Development of a computer-aided design and finite-element analysis combined method for customized Nuss bar in pectus excavatum surgery. *Sci Rep.* 2017;7(1):3543. doi: 10.1038/s41598-017-03622-y.
141. Yoganandan N, Kumaresan SC, Voo L, Pintar FA, Larson SJ. Finite element modeling of the C4-C6 cervical spine unit. *Med Eng Phys.* 1996;18(7):569-74. doi: 10.1016/1350-4533(96)00013-6.
142. Zhang DK, Tang JM, Ben XS, Xie L, Zhou HY, Ye X, Zhou ZH, Shi RQ, Xiao P, Chen G. Surgical correction of 639 pectus excavatum cases via the Nuss procedure. *J Thorac Dis.* 2015; 7(9):1595-605. doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2015.09.30.
143. Zhang Y, Chen Q, Luo Y, Sun C, Chen M, Wu N, Xie Y. Wire fracture in postoperative Nuss procedure: a problem that cannot be ignored. *Transl Pediatr.* 2021; 10(3):569-578. doi: 10.21037/tp-20-354].
144. Zienkiewicz OC, Taylor RL. The finite element method for solid and structural mechanics. Butterworth-Heinemann, 2005. 736 p.

ДОДАТОК А

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації:

1. Левицький А.Ф. Пилипко В.М. Годік О. С., Бебешко О.В. Еволюція методик хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки в дітей: одноцентровий досвід. Paediatric Surgery (Ukraine). 2021; 4(73): 38-43. [doi: 10.15574/PS.2021.73.38](https://doi.org/10.15574/PS.2021.73.38). (Дисертантом проведено пошук та аналіз літературних джерел, сформовані висновки, підготував публікацію до друку) (*У періодичному науковому виданні України, яке індексується в наукометричній базі SCOPUS*)
2. Пилипко В.М., Левицький А.Ф., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д. Експериментальні дослідження величини прогину пластини для корекції лійкоподібної деформації грудної клітки під впливом згинаючого навантаження. Paediatric Surgery (Ukraine). 2023. 1 (78): 35-41; doi: 10.15574/PS.2023.78.35. (Дисертантом розроблено дизайн експерименту, проведено статистичний аналіз результатів, сформовані висновки, підготував публікацію до друку) (*У періодичному науковому виданні України, яке індексується в наукометричній базі SCOPUS*)
3. Пилипко В.М., Левицький А.Ф., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д., Яреско О.В. Дослідження розподілу напружень в елементах грудної клітки при різних схемах корекції лійкоподібної деформації груднини у дітей. Ортопедія, травматологія та протезування. 2023; (3): 28-35. DOI: <https://doi.org/10.15674/0030-59872023328-35>. (Дисертантом розроблено дизайн дослідження, проаналізовані результати моделювання, сформовані висновки, підготував публікацію до друку). (*У періодичному науковому виданні України, яке індексується в наукометричній базі SCOPUS*)
4. Пилипко В.М., Левицький А.Ф., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д., Яреско О.В. Порівняльний аналіз напружено-деформованого стану грудної

клітки при корекції лійкоподібної деформації із застосуванням двох пластин: порівняння паралельного та схрещеного методів встановлення фіксаторів. Paediatric Surgery (Ukraine). 2023. 3 (80): 40-49. doi: 10.15574/PS.2023.80.40. (Дисертантом розроблено дизайн дослідження, проаналізовані результати моделювання, сформовані висновки, підготував публікацію до друку). **(У періодичному науковому виданні України, яке індексується в наукометричній базі SCOPUS)**

5. Левицький А.Ф., Пилипко В.М., Карпінський М.Ю., Яресько О.В. Дослідження коригуючого впливу різних типів фіксаторів на лійкоподібну деформацію грудної клітки при операції Nuss. Травма. 2023; 24(3): 45-53. DOI: 10.22141/1608-1706.3.24.2023.954. (Дисертантом розроблено дизайн дослідження, проаналізовані результати моделювання, сформовані висновки, підготував публікацію до друку). **(У періодичному науковому виданні України, група В)**

6. Карпінська О.Д., Левицький А.Ф., Пилипко В.М. Метааналіз процедур Ravitch та Nuss для лікування лійкоподібної деформації грудної клітки у дітей та підлітків. Ортопедія, травматологія та протезування. 2024. 1: 63-71. DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-598720241>. (Дисертантом проведено пошук та аналіз літературних джерел, сформовані висновки, підготував публікацію до друку). **(У періодичному науковому виданні України, яке індексується в наукометричній базі SCOPUS)**

Видання, які додатково відображують наукові результати дисертації:

1. Патент на корисну модель 145159 UA МПК А61В 17/00, А61В 17/68 (2006.01), А61В 17/70 (2006.01). Фіксатор для хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки у дітей / Левицький А. Ф.; Пилипко В. М.; Годік О. С.; Карабенюк О. В.; Буженко В. М.; Бебешко О. В. (Патентовласник: Національний Медичний Університет ім. О.О. БОГОМОЛЬЦЯ). Заявка u202003530 від

11.06.2020. Опубл. 25.11.2020, бюл. № 22. (Автором запропоновано конструкцію фіксатора, оформлено заявку на патент)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дослідження:

2. Levytskyi A, Godik O, Bebeshko O, Diehtiarova D, **Pylypko V** «Single-Center experience of pectus excavatum surgical repair in comparison between three groups of different surgical techniques» 21 Virtual Congress “Chest Wall International Group” (12-13 & 19-20 November, 2020). (Дисертантом проведено пошук та аналіз літературних джерел, підготував публікацію до друку)

3. Левицький А.Ф., Пилипко В.М., Годік О.С., Бебешко О.В. Медико-соціальні аспекти реабілітації пацієнтів при використанні малоінвазивних методик хірургічної корекції лійкоподібної деформації грудної клітки. XV Конгрес педіатрів України 12-13 жовтня 2021. Міжнародний журнал педіатрії, акушерства та гінекології. 2021; 14 (1): 71. (Дисертантом проаналізовано результати клінічних досліджень, сформовані висновки, підготовлено публікацію до друку)

4. Godik O., Levytskyi A., Pylypko V., Diehtiarova D. Single-Center Experience of Pectus Excavatum Surgical Repair. 3й конгрес ендохірургії «IPEG 2021 Annual Meeting» (11-14 June, 2021, Los Angeles). (Дисертантом проаналізовано результати клінічних досліджень, сформовані висновки, підготовлено публікацію до друку)

5. Левицький А.Ф., Пилипко В.М., Годік О. С., Бебешко О. В. Малоінвазивна хірургічна корекція лійкоподібної деформації у підлітків: практичні поради щодо запобігання можливим ускладненням. Об'єднання науки та практики: до 85-річного ювілею кафедри дитячої хірургії: науково-практична конференція з міжнародною участю (18-19 травня 2023. Одеса). Одеса, 2023: 195. (Дисертантом проаналізовано результати клінічних досліджень, сформовані висновки, підготовлено публікацію до друку)

6. Левицький А.Ф., Пилипко В.М., Карпінський М.Ю. Біомеханіка взаємодії фіксатору та елементів передньої грудної стінки при мініінвазивній корекції лійкоподібної деформації грудної клітки. III міжнародна фахова школа для дитячих лікарів хірургічних спеціальностей: «Рух в майбутнє вже сьогодні. Step by step» (8-10 грудня, 2023, Львів). (Дисертантом проаналізовано результати клінічних досліджень, сформовані висновки, підготовлено публікацію до друку)

Додаток Б

Таблиця В.1

Модифікований опитувальник Lawson «Хвороба-специфічний інструмент»

Оцінка	Питання	Оцінка по балам	Термін спостереження
Психологічна оцінка	1. Вигляд в загальному	1- дуже задоволений 2- трохи задоволений 3- трохи незадоволений 4- дуже незадоволений	
	2. Вигляд без футболки	1- дуже задоволений 2- трохи задоволений 3- трохи незадоволений 4- дуже незадоволений	
	3. Проводити решту життя так, як зараз виглядає грудна клітка	1- дуже задоволений 2- трохи задоволений 3- трохи незадоволений 4- дуже незадоволений	
	4. Діти знущаються над дитиною через грудну клітку	1- дуже часто 2- часто 3- іноді 4- ніколи	
	5. Приховує грудну клітку	1- дуже часто 2- часто 3- іноді 4- ніколи	
	6. Занепокоєння через те, як виглядає грудна клітка	1- дуже часто 2- часто 3- іноді 4- ніколи	
	7. Почувається сором'язливим/невпевненим через грудну клітку	1- дуже часто 2- часто 3- іноді 4- ніколи	
Фізична оцінка	8. Має проблеми з фізичними вправами	1- дуже часто 2- часто 3- іноді 4- ніколи	
	9. Грудна клітка викликала задишку	1- дуже часто 2- часто 3- іноді 4- ніколи	
	10. Грудна клітка викликала втому у дитини	1- дуже часто 2- часто 3- іноді 4- ніколи	