

УДК 616.712-007.2-089.843(045)

В.М. Пилипко^{1,3}, А.Ф. Левицький^{1,3}, М.Ю. Карпінський², О.Д. Карпінська²

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

¹Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

²ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка НАМН України», м. Харків

³Національна дитяча спеціалізована лікарня «ОХМАТДИТ», м. Київ, Україна

Paediatric Surgery(Ukraine).2023.1(78):35-41; doi 10.15574/PS.2023.78.35

For citation: Pylypko VM, Levytskyi AF, Karpinskyi MYu, Karpinska OD. (2023). Experimental studies of the amount of deflection of the plate for the correction of the funnel-shaped deformation of the chest under the influence of bending load. Paediatric Surgery (Ukraine). 1(78):35-41. doi: 10.15574/PS.2023.78.35.

Одним із провідних методів реконструкції лійкоподібної деформації грудної клітки є нерезекційна торакопластика, або операція за Nuss. Для її виконання застосовують імплантовані системи, що складаються з однієї або двох коригуючих пластин. Методика мініінвазивна, не потребує великих розрізів і резекції ребер. Але бувають ускладнення, пов'язані з недостатньою міцністю кісткової тканини, яка, за даними літератури, визначається в дуже широкому діапазоні.

Мета – визначити залежність величини прогину одинарної та здвоєних пластин для корекції деформації груднини від величини згинаючого навантаження; розробити методику визначення коригуючого навантаження, яке здійснює пластина на кісткові структури при корекції.

Матеріали та методи. Проводили експериментальні дослідження пластин для корекції деформацій груднини. Використовували 6 пластин. У першій частині експерименту кожену пластину випробовували окремо. У другій – пластини з'єднували попарно, і кожену пару випробовували на згин. Усього випробовували 3 пари пластин. Величину згинаючої сили поступово збільшували від 0 Н з кроком 50 Н. На кожному кроці фіксували величину прогину пластини.

Результати. Результати експериментальних досліджень одинарних пластин засвідчили, що відхилення величин прогину статистично значуще ($p > 0,05$) не відрізнялося від розрахункових показників на всьому діапазоні згинаючих навантажень. Проведені дослідження здвоєних пластин для корекції деформацій груднини також не виявили статистично значущих ($p > 0,05$) відмінностей величин прогину зразків, отриманих в експерименті, від розрахованих показників. Результати проведеного дослідження дали змогу розробити методику розрахунку величини сили, з якою пластина діє на груднину при корекції її деформації.

Висновки. Розроблено методику визначення величини сили, з якою пластина впливає на груднину при корекції деформації певної величини. Підтверджено, що розрахункові дані про величини прогину пластини під впливом згинаючого навантаження і дані, отримані в експерименті, статистично значуще не різняться між собою. Отримані дані можуть бути корисними для вибору розміру коригуючої пластини, способу її кріплення до ребер, а також для моделювання варіантів накладання пластин для корекції різних деформацій груднини.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол дослідження ухвалено Локальним етичним комітетом зазначеної в роботі установи. На проведення досліджень отримано інформовану згоду пацієнтів.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Ключові слова: грудна клітка, лійкоподібна деформація, коригуюча пластина, навантаження.

Оригінальні дослідження. Торакальна хірургія

Experimental studies of the amount of deflection of the plate for the correction of the funnel-shaped deformation of the chest under the influence of bending load

V.M. Pylypko^{1,3}, A.F. Levytskyi^{1,3}, M.Yu. Karpinskyi², O.D. Karpinska²

¹Bogomolets National Medical University of Ukraine, Kyiv

²Sytenko Institute of the Spine and Joints Pathology of NAMS of Ukraine, Kharkiv

³National Children's Specialized Hospital «OKHMATDYT», Kyiv, Ukraine

One of the leading methods of reconstruction of the funnel-shaped deformity of the chest is nonresection thoracoplasty, or Nuss surgery. For its implementation, implanted systems consisting of one or two corrective plates are used. The technique is minimally invasive, does not require large incisions and resection of ribs. But there are complications related to the insufficient strength of bone tissue, which according to the literature is defined in a very wide range.

Purpose – to determine the dependence of the amount of deflection of single and double plates for the correction of sternum deformity on the amount of bending load; to develop a method of determining the corrective load that the plate exerts on bone structures during correction.

Materials and methods. Experimental studies of plates for correction of sternum deformities were performed. We used 6 plates. In the first part of the experiment, each plate was tested separately. In the second part, the plates were connected in pairs, and each pair was tested for bending. In total, 3 pairs of plates were tested. The bending force was gradually increased from 0 N in increments of 50 N. At each step, the deflection of the plate was recorded.

Results. The results of experimental studies of single plates showed that the deviation of deflection values did not differ statistically significantly ($p > 0.05$) from the calculated values over the entire range of bending loads. The studies of the twin plates for the correction of sternum deformities also did not reveal statistically significant ($p > 0.05$) differences in the deflection values of the samples obtained in the experiment from the calculated values. The results of the study made it possible to develop a methodology for calculating the force with which the plate acts on the sternum when correcting its deformation.

Conclusions. A methodology has been developed for determining the force with which the plate acts on the sternum when correcting a deformation of a certain magnitude. It is confirmed that the calculated data on the deflection of the plate under the influence of bending load and the data obtained in the experiment do not differ statistically significantly. The data obtained can be useful for selecting the size of the corrective plate, the method of its attachment to the ribs, as well as for modeling the options for applying plates to correct various sternum deformities.

The research was carried out in accordance with the principles of the Helsinki Declaration. The study protocol was approved by the Local Ethics Committee of the institution mentioned in the paper. The informed consent of the patient was obtained for conducting the studies. No conflict of interests was declared by the authors.

Keywords: chest cell, funnel-shaped deformation, corrective plate, load.

Вступ

Одним із провідних методів реконструкції лінійкоподібної деформації грудної клітки є нерезекційна торакопластика, або операція за Nuss [10,14,18]. Для її виконання використовують імплантовані системи, що складаються з однієї або двох коригуючих пластин [15]. Методика мініінвазивна, не потребує великих розрізів і резекції ребер. Корекцію здійснюють шляхом вигинання запалої частини грудинно-реберного комплексу вентрально. Але бувають ускладнення, пов'язані з недостатньою міцністю кісткової тканини, яка, за даними літератури, визначається в дуже широкому діапазоні [1,2,8,9,11,22]. Це також пов'язано з невизначеністю величини навантаження, яке здійснюють коригуючі пластини на кісткові структури [7]. Незважаючи на значні переваги мініінвазивної корекції деформацій грудної клітки, існує багато ускладнень, у тому числі тих, які стосуються незадовільної корекції або ротації фіксатора, гіперкорекції [3–5,12,20,21]. Особливості силової взаємодії між фіксатором та елементами грудної клітки

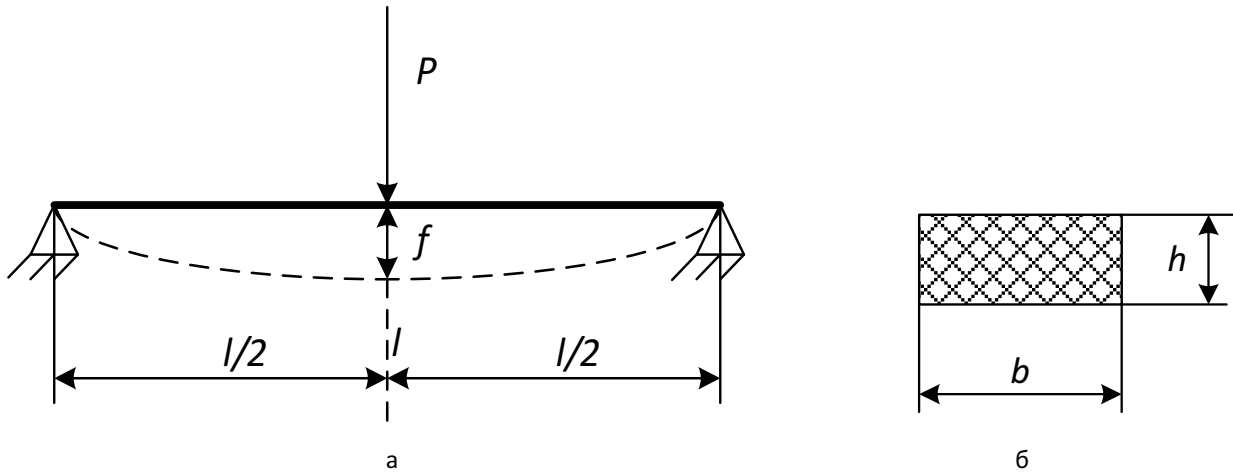
за використання однієї та декількох пластин досі не вивчені.

Мета дослідження – визначити залежність величини прогину одинарної та здвоєних пластин для корекції деформації груднини від величини згинаючого навантаження; розробити методику визначення коригуючого навантаження, яке здійснює пластина на кісткові структури при корекції.

Матеріали та методи дослідження

У лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка НАМН України» проводили експериментальні дослідження пластин для корекції деформацій груднини. Пластини випробовували на згин. За даними технічної літератури [19], якщо величина початкового прогину балки не перевищує $\frac{1}{4}$ її довжини, то розрахунки можна виконувати, як для прямої балки. Тому обрали розрахункову схему експерименту (рис. 1).

Усього у випробуваннях використовували 6 пластин. У першій частині експерименту кожну пласти-



Примітки: P – згинаюча сила; f – стріла прогину; l – довжина балки; b – ширина балки; h – висота балки.

Рис. 1. Розрахункова схема: а – схема навантаження; б – профіль балки

ну випробовували окремо. У другій – пластини з'єднували попарно (рис. 2), і кожну пару випробовували на згин. Усього випробували 3 пари пластин.

Під час експерименту величину згинаючої сили поступово збільшували від 0 Н з кроком 50 Н. На кожному кроці фіксували величину прогину пластини. У 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.

Дані експериментальних досліджень опрацьовано статистично. Розраховано середнє (M), стандартне відхилення (SD) та розкид значень ($\min\div\max$) досліджень зразків. Відповідність отриманих експериментальних даних одинарних пластин розрахунковим значеннями прогину визначено за допомогою одномірного t -тесту. Дані експерименту відображено на діаграмах [13].

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол дослідження ухвалено Локальним етичним комітетом зазначеної в роботі установи. На проведення досліджень отримано інформовану згоду пацієнтів.

Результати дослідження та їх обговорення

До початку експерименту проводили теоретичні розрахунки величини прогину пластини при різних значеннях величини згинаючого навантаження. Для розрахунків використовували розрахункову схему, наведену на рисунку 1.

Для обраної розрахункової схеми величину стріли прогину визначали за формулою [17]:

$$f = \frac{Pl^3}{192EJ}, \quad (1)$$

де P – величина згинаючої сили;

E – модуль пружності матеріалу;

l – довжина пластини;

J – момент інерції пластини.

Для пластини прямокутного профілю момент інерції визначали за формулою [17]:

$$J = \frac{bh^3}{12}, \quad (2)$$

де b – ширина пластини;

h – висота пластини.

За вихідні дані для розрахунку обирали:

$l=280$ мм

$b=15$ мм

$h=2,5$ мм

$E=110$ ГПа (за даними фірми «ChM» та стандартів ISO [6]).

Визначали величину моменту інерції для обраних пластин, для чого переводили величини геометричних параметрів пластини в метри:

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

Підставляли отримане значення моменту інерції в рівняння (1), та, задавшись значеннями величини згинаючої сили P , визначали величини стріли прогину для однієї пластини.

Для розрахунку здвоєної пластини значення її ширини збільшували вдвічі, тобто:

$b=30$ мм.

Оригінальні дослідження. Торакальна хірургія

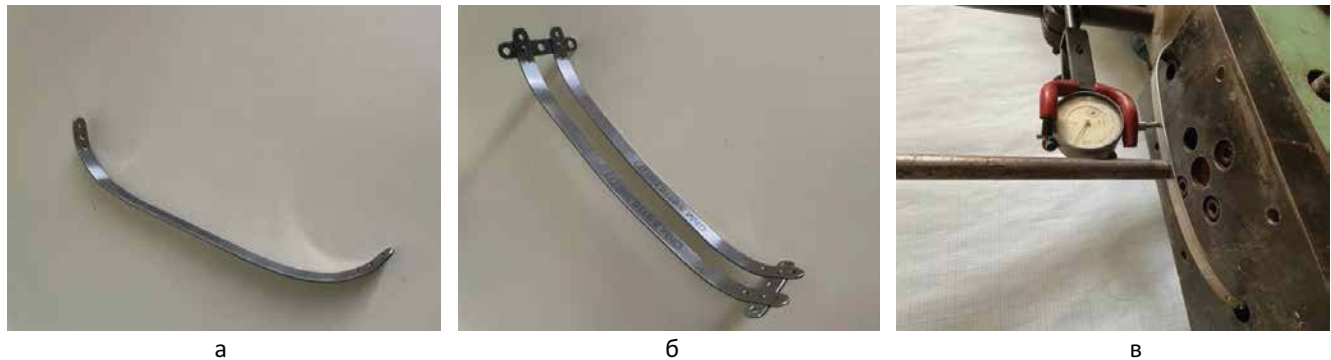


Рис. 2. Пластины, використані в експерименті: а – пластина; б – пластины, з'єднані в пару; в – пластина на стенді для біомеханічних досліджень

Таблиця 1

Значення величини прогину пластины залежно 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

Таблиця 2

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

Навантаження, Н	Прогин, мм		Одновібірковий 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

Тоді значення моменту інерції набувало нового вигляду:

$$J = \frac{0,03 \cdot 0,025^3}{12} = 3,91 \cdot 10^{-11}, \quad (4)$$

Величину прогину здвоєної пластины визначали, підставивши значення моменту інерції з рівняння (4) до рівняння.

Дані розрахунків величин прогину як одинарної, так і здвоєної пластин, залежно від прикладеного навантаження, наведено в таблиці 1.

Другим етапом роботи проводили експериментальні дослідження величини прогину пластин для корекції деформації груднини під впливом згинаючого навантаження. Дані про результати експериментальних досліджень одинарних пластин наведено в таблиці 2.

Результати експериментальних досліджень одинарних пластин для корекції деформацій груднини на згин показали, що відхилення величин прогину статистично значуще ($p > 0,05$) не відрізнялося 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 відображено на рисунку 3.

На рисунку 3 показано, що відхилення показників прогину зразків пластин, випробуваних на згин, від розрахункових значень було незначним, хоча і мало тенденцію до збільшення в разі підвищення величин навантаження.

У таблиці 3 наведено дані про результати експериментальних досліджень величини прогину здвоєних пластин для корекції деформації груднини під впливом згинаючого навантаження.

Проведені дослідження на згин здвоєних пластин для корекції деформацій груднини також не виявили статистично значущих ($p > 0,05$) відмінностей вели-

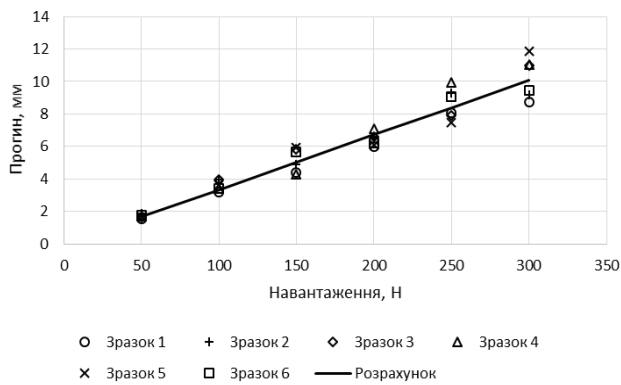


Рис. 3. Графік залежності величини прогину одинарних пластин від величини навантаження за даними розрахунку та експерименту

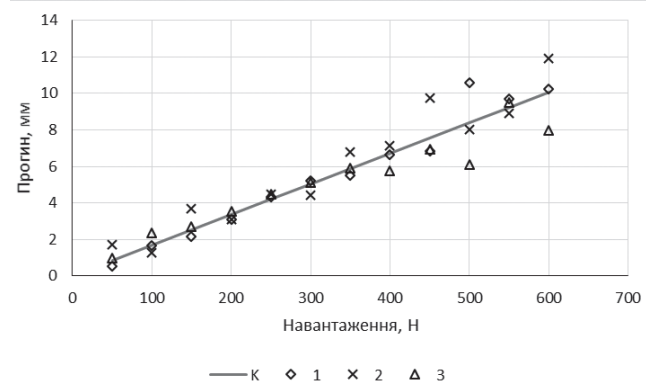


Рис. 4. Графік залежності величини прогину здвоєних пластин від величини навантаження за даними розрахунку та експерименту

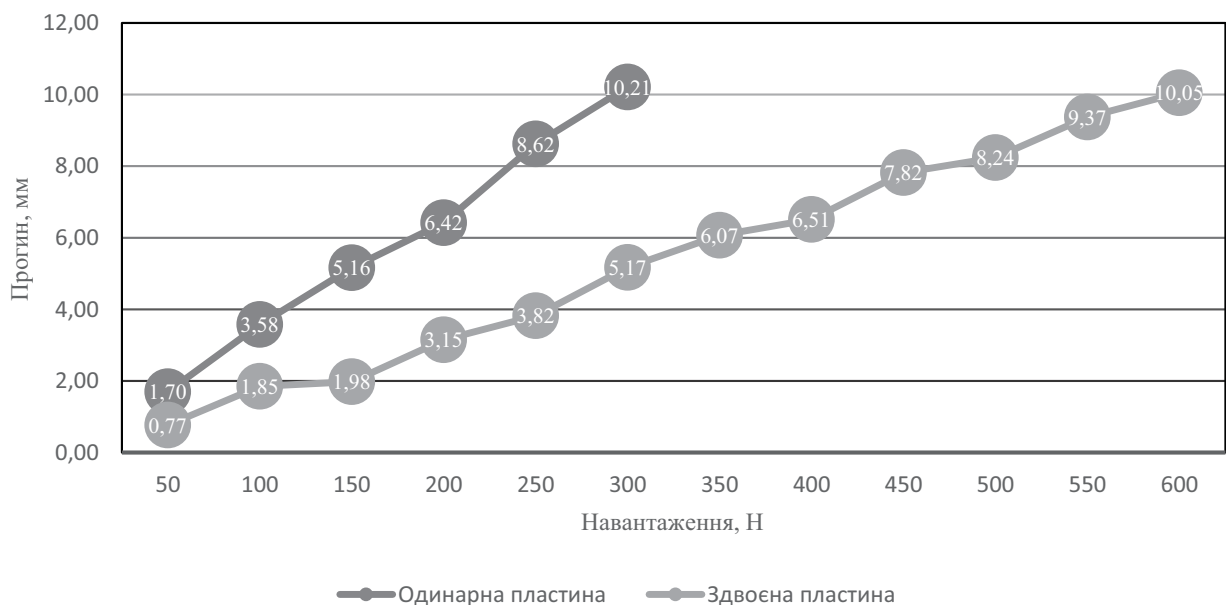


Рис. 5. Графік зміни середніх величин погину одинарних і здвоєних пластин залежно від величини навантаження

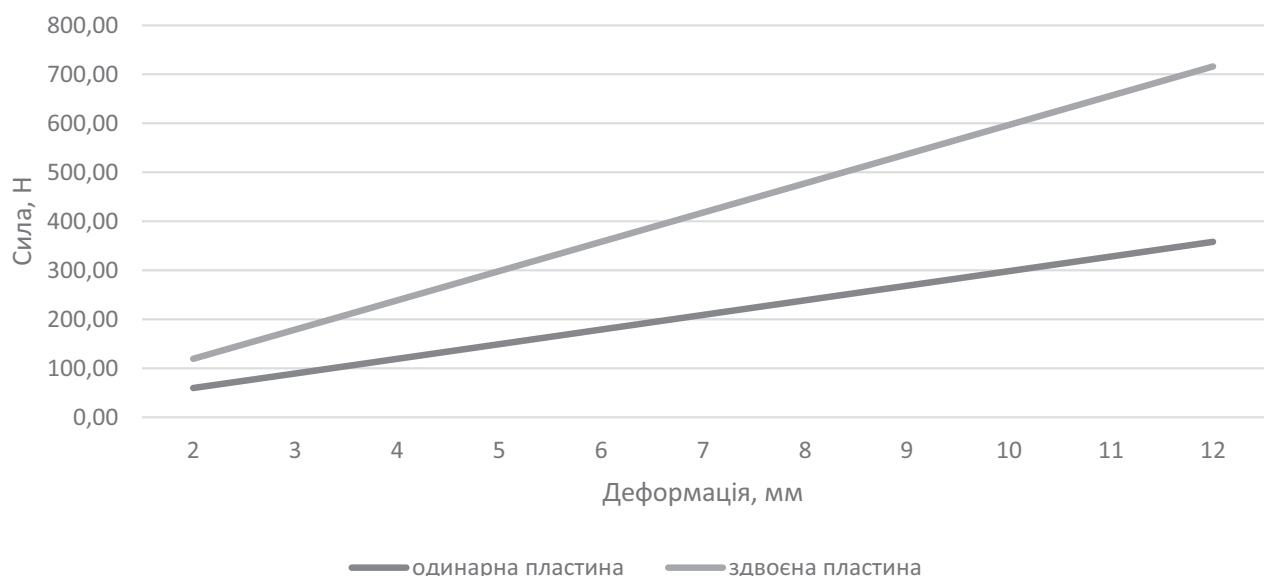


Рис. 6. Графік залежності величини коригуючої сили від величини деформації груднини, яку необхідно скоригувати

Оригінальні дослідження. Торакальна хірургія

Таблиця 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±,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±,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

Таблиця 4

Величини сили, з якою одинарна та здвоєна платини впливатимуть на груднину 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

чин прогину зразків, отриманих в експерименті, від розрахованих показників.

Графік, наведений на рисунку 4, дає змогу наочно порівняти залежність величини прогину здвоєних пластин від величини згинаючого навантаження за даними розрахунку та експерименту.

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

Графік, наведений на рисунку 5, відображає зміни середніх показників величин прогину одинарних і здвоєних пластин для корекції деформації груднини від величини прикладеного згинаючого навантаження.

Доцільно припустити, що пластина діє на груднину саме з тією силою, яка потрібна для її згинання на необхідну величину. Оскільки проведений експеримент визначив відсутність статистично значущих відмінностей між розрахунковими та експериментальними даними, ми визначили, з якою силою впливала одинарна та здвоєна пластини на груднину при корекції деформації певної величини. Для вирішення цього завдання виконували перетворення формули (1), яка отримала такий вигляд:

$$P = \frac{192fEI}{l^3}, \quad (5)$$

Тепер, якщо ми задали величину деформації f і підставили відповідні значення моменту інерції для одинарної та здвоєної пластин, то отримали значення величини сили, з якою ці пластини впливатимуть на груднину при її корекції. Дані про величини коригуючої сили залежно від величини деформації груднини наведено в таблиці 4.

Для наочного та зручнішого визначення величини сили, з якою коригуючі пластини діють на груднину залежно від величини її деформації, побудовано графік, наведений на рисунку 6.

Результати проведеного дослідження дали змогу розробити методику розрахунку величини сили, з якою пластина діє на груднину при корекції її деформації. Отримані дані можуть бути корисними для вибору розміру коригуючої пластини, способу її кріплення до ребер [16], а також для моделювання варіантів накладання пластин для корекції різних деформацій груднини методом скінчених елементів.

Висновки

Розроблено методику визначення величини сили, з якою пластина впливає на груднину при корекції деформації певної величини.

Підтверджено, що розрахункові дані про величини прогину пластини під впливом згинаючого навантаження і дані, отримані в експерименті, статистично значуще не різняться між собою.

Отримані дані можуть бути корисними для вибору розміру коригуючої пластини, способу її кріплення до ребер, а також для моделювання варіантів накладання пластин для корекції різних деформацій груднини.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References/Література

- Abramson H, Aragone X, Blanco JB, Ciano A, Abramson L. (2016, Mar 23). Minimally invasive repair of pectus carinatum and how to deal with complications. *J Vis Surg*. 2: 64. doi: 10.21037/jovs.2016.03.11.
- Cohee AS, Lin JR, Frantz FW et al. (2013). Staged management of pectus carinatum. *J Pediatr Surg*. 48: 315–20. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2012.11.008.
- David VL. (2022). Current Concepts in the Etiology and Pathogenesis of Pectus Excavatum in Humans-A Systematic Review. *J Clin Med*. 11: 1241.
- Ewais MM, Chaparala S, Uhl R, Jaroszewski DE. (2018). Outcomes in adult pectus excavatum patients undergoing Nuss repair. *Patient Relat Outcome Meas*. 9: 65–90.
- Hebra A, Calder BW, Leshner A. (2016). Minimally invasive repair of pectus excavatum. *J Vis Surg*. 2: 73.
- ISO 5832–3:2021. (2016). Implants for surgery. Metallic materials. Part 3: Wrought titanium 6-aluminium 4-vanadium alloy: 17. URL: <https://www.iso.org/standard/66637.html>.
- Kamins'ka MO, Dihtyar VA, Yares'ko OV. (2022). Obgruntuvannya optimal'noyi dovzhyny ta formy plastyny dlya korektsiyi vrodzhenoyi liykopodibnoyi deformatsiyi klitky. *Travma*. 23 (2): 25–28. [Камінська МО, Дігтяр ВА, Ярес'ко ОВ. (2022). Обґрунтування оптимальної довжини та форми пластини для корекції вродженої лікоподібної деформації грудної клітки. *Травма*. 23 (2): 25–28]. doi: 10.22141/1608–1706.2.23.2022.887.
- Katrancioglu O, Akkas Y, Karadayi S, Sahin E, Kaptanoğlu M. (2018, Jan). Is the Abramson technique effective in pectus carinatum repair? *Asian J Surg*. 41 (1): 73–76. doi: 10.1016/j.asjsur.2016.09.008.
- Kocher G, Gioutsos K, Nguyen TL, Sesia S. (2021, Dec 6). Minimally invasive repair of pectus carinatum using the Abramson technique. *Multimed Man Cardiothorac Surg*. doi: 10.1510/mmcts.2021.082.
- Levytskyi AF, Pylypko VM, Godik OS, Bebesko OV. (2021). Evolution of methods of surgical correction of pectus excavatum in children: single center experience. *Paediatric Surgery.Ukraine*. 4 (73): 38–43. [Левицький АФ, Пилипко ВМ, Годік ОС, Бебешко ОВ. (2021). Еволюція методик хірургічної корекції лікоподібної деформації грудної клітки в дітей: одноцентровий досвід. *Хірургія дитячого віку*. 4 (73): 38–43]. doi: 10.15574/PS.2021.73.38.
- Muntean A, Stoica I, Saxena AK. (2018, Feb). Pigeon chest: comparative analysis of surgical techniques in minimal access repair of pectus carinatum (MARPC). *World J Pediatr*. 14 (1): 18–25. doi: 10.1007/s12519-018-0121-2.
- Nagasao T, Noguchi M, Miyamoto J, Jiang H, Ding W, Shimizu Y, Kishi K. (2010). Dynamic effects of the Nuss procedure on the spine in asymmetric pectus excavatum. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 140 (6): 1294–1299. doi: 10.1016/j.jtcvs.2010.06.025.
- Nasledov A. (2011). SPSS 19: profesiynnyy statystychnyy analiz danykh. SPb: Pyter: 400. [Наследов А. (2011). SPSS 19: профессиональный статистический анализ данных. СПб: Питер: 400].
- Nuss D, Obermeyer RJ, Kelly RE. (2016). Nuss bar procedure: past, present and future. *Annals of cardiothoracic surgery*. 5 (5): 422–433. doi: 10.21037/acs.2016.08.05.
- Park HJ et al. (2014). The bridge technique for pectus bar fixation: a method to make the bar un-rotatable. *J Pediatr Surg*. 50 (8): 1320–1322. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2014.12.001.
- Park HJ, Kim KS, Lee S, Jeon HW. (2014). A Next-Generation Pectus Excavatum Repair Technique: New Devices Make a Difference. 99 (2): 455–461. doi: 10.1016/j.athoracsur.2014.08.026.
- Spravochnyk mashynobudivnyka. (1954). M.: HNTY mashynostroytel'noy lyteratury. 1: 567. [Справочник машиностроителя. (1954). М.: ГНТИ машиностроительной литературы. 1: 567].
- Torre M, Rapuzzi G, Jasonni V, Varel P. (2012). Chest Wall Deformities: An Overview on Classification and Surgical Options. In *Topics in Thoracic Surgery*. InTech: 117–138. doi: 10.5772/25950. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/28637>.
- Ugural AC, Fenster SK. (2019). *Advanced Mechanics of Materials and Applied Elasticity* (International Series in the Physical and Chemical Engineering Sciences). Prentice Hall: 752. ISBN 0134859367, 9780134859361.
- Wang W, Chen C, Long W, Li X, Wang W. (2018). Wang procedure for treatment of pectus excavatum. *SL Clin Exp Cardiol*. 2: 113.
- Wang W, Long W, Liu Y, Cai B, Luo J. (2022). Wang procedure: A reasonable choice for reoperation after failure of Nuss procedure for pectus excavatum. *International Journal of Surgery Science*. 6: 68–71. doi: 10.33545/surgery.2022.v6.i3b.921.
- Yuksel M, Lacin T, Ermerak NO, Sirzai EY, Sayan B. (2018, Mar). Minimally Invasive Repair of Pectus Carinatum. *Ann Thorac Surg*. 105 (3): 915–923. doi: 10.1016/j.athoracsur.2017.10.003.

Відомості про авторів:

Пилипко Власій Миколайович – аспірант каф. дитячої хірургії НМУ імені О.О. Богомольця; лікар ортопед-травматолог дитячий відділення ортопедії та травматології НДСЛ «ОХМАТДИТ». Адреса: м. Київ, вул. В. Чорновола, 28/1. <https://orcid.org/0000-0001-5506-0383>.

Левицький Анатолій Феодосійович – д.мед.н., проф., зав. каф. дитячої хірургії НМУ імені О.О. Богомольця; лікар ортопед-травматолог дитячий відділення ортопедії та травматології НДСЛ «ОХМАТДИТ». Адреса: м. Київ, бульвар Т. Шевченка, 13. <https://orcid.org/0000-0002-4440-2090>.

Карпінський Михайло Юрійович – ст.н.с. лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені проф. М.І. Ситенка НАМН України». Адреса: м. Харків, вул. Пушкінська, 80; тел. +380 (057) 725–14–74. <https://orcid.org/0000-0002-3004-2610>.

Карпінська Олена Дмитрівна – н.с. лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені проф. М.І. Ситенка НАМН України». Адреса: м. Харків, вул. Пушкінська, 80; тел. +380 (057) 725–14–74. <https://orcid.org/0000-0002-1482-7733>.

Стаття надійшла до редакції 27.12.2022 р., прийнята до друку 14.03.2023 р.