

В.А. Дігтяр, М.О. Камінська

Біомеханічне моделювання та проблемні питання хірургічної корекції вродженої лійкоподібної деформації грудної клітки

Дніпровський державний медичний університет, Україна

Paediatric surgery.Ukraine.2021.2(71):58-62; DOI 10.15574/PS.2021.71.58

For citation: Dihtiar VA, Kaminska MO. (2021). Biomechanical modeling and problematic issues of surgical correction of congenital funnel chest deformity. Paediatric Surgery.Ukraine. 2(71):58-62; DOI 10.15574/PS.2021.71.58.

Вроджена лійкоподібна деформація грудної клітки (ВЛДГК) відзначається у 0,6–2,3% населення і становить 90% усіх вроджених деформацій грудної клітки. Торакопластика за методикою D. Nuss є найпоширенішим способом лікування ВЛДГК, яка вважається мініінвазивною технологією та дає швидкий косметичний ефект.

Мета – провести пошук моделей ВЛДГК та її хірургічної корекції для створення найбільш наближеної до реальності методики, яка дасть змогу оптимально планувати та раціонально виконувати майбутню операцію.

Аналіз літературних джерел виявив, що, з одного боку, побудова спрощених моделей грудної клітки дає змогу швидко проводити дослідження, але ці спрощення не дозволяють об'єктивно оцінити вплив і взаємодію різних елементів складної біомеханічної системи «грудина–ребра–хребет». З іншого боку, складні моделі мають більшу достовірність, але малодоступні в реалізації у зв'язку з надвисокою технологічністю і вартістю. Крім того, у дослідженнях напружено-деформованого стану на моделях грудної клітки наявність хребтного стовпа або взаємодія ребер із хребцями вивчалася недостатньо. Якщо в роботах із моделювання транспортних аварій це виправдано внаслідок опори хребта на сидіння, то при моделюванні виправлення деформацій грудної клітки відсутність урахування рухомості суглобових з'єднань і гнучкості хребтного стовпа може привести до некоректних і хибних результатів.

Перспективним є створення методики моделювання ВЛДГК та її хірургічної корекції за умов, наближених до реальності. Це дасть можливість розробити раціональну модифікацію торакопластики ВЛДГК на основі операції D. Nuss за умов одномоментної повноцінної стабільної корекції та мінімальних біомеханічних навантажень у системі «грудина–ребра–хребет».

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Ключові слова: лійкоподібна деформація, торакопластика, біомеханіка.

Biomechanical modeling and problematic issues of surgical correction of congenital funnel chest deformity

V.A. Dihtiar, M.O. Kaminska

Dnipro State Medical University, Ukraine

Congenital funnel chest deformity (CFCD) is noted in 0.6–2.3% of the population and accounts for 90% of all congenital chest deformities. Nuss thoracoplasty is the most common method for treating CFCD, which is considered a minimally invasive technology and provides a quick cosmetic effect.

Purpose is to search for models of CFCD and its surgical correction in order to create a technique that is as close to reality as possible, which will make it possible to optimally plan and rationally carry out the forthcoming operation.

Analysis of literature sources showed that, on the one hand, the construction of simplified models of the chest allows quick research, but these simplifications do not allow for an objective assessment of the influence and interaction of various elements of the complex biomechanical system «sternum–rib–spine». On the other hand, complex models are more reliable, but hardly available for implementation due to their ultra-high manufacturability and cost. In addition, in studies of stress-strain state on models of the chest, the presence of the spinal column or the interaction of the ribs with the vertebrae has been insufficiently studied. When in the works on modeling road traffic injuries this is justified due to the support of the spine on the seat, then when modeling the correction of chest deformities, the lack of consideration of the mobility of the articular joints and the flexibility of the spinal column can lead to incorrect and false results.

It is promising to create a technique for modeling CFCD and its surgical correction in conditions close to reality. This will make it possible to develop a rational modification of thoracoplasty based on the D. Nuss operation under the condition of one-stage full-fledged stable correction and minimal biomechanical loads in the «sternum-rib-spine» system.

No conflicts of interest was declared by the authors.

Key words: funnel chest deformity, thoracoplasty, biomechanics.

Биомеханическое моделирование и проблемные вопросы хирургической коррекции врожденной воронкообразной деформации грудной клетки

В.А. Дегтярь, М.О. Каминская

Днепропетровский государственный медицинский университет, Украина

Врожденная воронкообразная деформация грудной клетки (ВВДГК) отмечается в 0,6–2,3% населения и составляет 90% всех врожденных деформаций грудной клетки. Торакопластика по методике D. Nuss является наиболее распространенным способом лечения ВВДГК, которая считается минимально инвазивной технологией и дает быстрый косметический эффект.

Цель – провести поиск моделей ВВДГК и её хирургической коррекции для создания методики, наиболее приближенной к реальности, что позволит оптимально планировать и рационально осуществлять предстоящую операцию.

Анализ литературных источников показал, что, с одной стороны, построение упрощенных моделей грудной клетки позволяет быстро проводить исследования, но эти упрощения не позволяют объективно оценить влияние и взаимодействие различных элементов сложной биомеханической системы «грудная клетка – ребра – позвоночник». С другой стороны, сложные модели имеют большую достоверность, но малодоступны в реализации в связи со сверхвысокой технологичностью и стоимостью. Кроме того, при исследованиях напряженно-деформированного состояния на моделях грудной клетки наличие позвоночного столба или взаимодействие ребер с позвонком изучены недостаточно. Когда в работах по моделированию транспортных аварий это оправдано вследствие опоры позвоночника на сидение, то при моделировании исправления деформаций грудной клетки отсутствие учета подвижности суставных соединений и гибкости позвоночного столба может привести к некорректным и ложным результатам.

Перспективным является создание методики моделирования ВВДГК и её хирургической коррекции в условиях, приближенных к реальности. Это позволяет разработать рациональную модификацию торакопластики на основе операции D. Nuss при условии одномоментной полноценной стабильной коррекции и минимальных биомеханических нагрузках в системе «грудная клетка – ребра – позвоночник».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Ключевые слова: воронкообразная деформация, торакопластика, биомеханика.

Вроджена лійкоподібна деформація грудної клітки (ВЛДГК) відзначається у 0,6–2,3% населення і становить 90% усіх вроджених деформацій грудної клітки [6,12,19]. Причиною деформації вважається дефект кісткової і сполучної тканини, що призводить до вад розвитку ребер і хрящів та формує увігнутість передньої стінки грудної клітки [3,5,8,13].

Торакопластика за методикою D. Nuss є найпоширенішим способом лікування ВЛДГК, вважається мінімально інвазивною технологією і дає швидкий косметичний ефект. У ході оперативного втручання лійкоподібна деформація усувається за допомогою установки пластини за грудиною, яка фіксується до ребер у необхідному положенні, інколи використовуються декілька пластин [9,15,18].

Разом із тим відомі різні ускладнення і наслідки, що виникають під час використання цієї методики [10,22]. А саме, часто відмічається деформація або міграція пластини, спостерігається недостатня корекція лійкоподібної деформації або рецидив. Найскладнішими є випадки з глибокими і асиметричними деформаціями. У таких випадках результати операції можуть бути не ідеальними, а отримана форма грудної клітки може відрізнитися від бажаної [20,21]. Тому особливого значення набуває планування раціонального способу торакопластики та прогнозування отриманого результату.

Мета дослідження – провести пошук моделей ВЛДГК та її хірургічної корекції для створення най-

більш наближеної до реальності методики, яка дасть змогу оптимально планувати та раціонально виконувати майбутню операцію.

Важливим елементом вивчення змін при ВЛДГК та її хірургічній корекції є напружено-деформований стан (НДС). У цей час із появою сучасних цифрових технологій і програмного забезпечення є можливість комплексного дослідження НДС складних біомеханічних об'єктів.

У роботах J. Awrejcewicz, B. Łuczak (2005) [1] модель грудної клітки побудована на основі знімків комп'ютерної томографії та малюнків анатомічних атласів. У вказаній моделі хребет і рухливість у реберно-хрящових, міжреберних і міжхрящових з'єднаннях не враховували, анатомічні вигини ребер представлені спрощеними кривими. Дослідження міцності моделей грудної клітки проводили при моделюванні транспортної аварії. Аналізували НДС на моделях грудної клітки: норма, модель після операції з одною пластиною і модель після операції з двома пластинами. Аналіз отриманих результатів показав, що в моделі грудної клітки зі встановленими пластинами переміщення груднини менше, ніж у моделі грудної клітки здорової людини. У разі установки двох пластин отримали більш рівномірний розподіл НДС на грудну клітку, що можна вважати більш безпечним для пацієнта.

Далі польські автори (2007) [2] удосконалили модель додаванням хребетного стовпа, де рухливість у

Огляди

реберно-хребцевих суглобах не передбачалась, а гнучкість хребетного стовбура моделювалася зміною жорсткості міжхребцевих дисків. У вказаних дослідженнях вивчали НДС грудної клітки на моделі транспортної аварії, ударне зусилля при різних початкових швидкостях ударника залежало від зміщення грудної клітки. В отриману модель помістили одну пластину для корекції лікоподібної деформації. При цьому отримали дані, що при фронтальному ударі пластина може викликати руйнування грудни, що значно знизить жорсткість грудної клітки.

Моделювання і дослідження змін грудної клітки у ході операції за D. Nuss за допомогою методики скінченних елементів (МСЕ) наведено в роботах T. Nagasao (2007) [16]. Автори використали спрощену балочну модель для моделювання грудної клітки та хребта, але не врахували рухомість суглобових з'єднань із ребрами. Запропонували методику моделювання чисельного розрахунку операції за D. Nuss – дію пластин замінили підйомним зусиллям, пластину встановили на рівні четвертого міжребер'я. Величину підйомного зусилля підібрали таким чином, щоб точка докладання цього зусилля досягла лінії, проведеної між точками прикладання опорних реакцій. Перевірку адекватності моделювання здійснили за допомогою порівняння з реальними післяопераційними формами грудних кліток із відповідними результатами, отриманими при моделюванні. Аналіз НДС виявив, що в дорослій групі рівень напруження, який виникає у всіх 12 ребрах, значно вищий, ніж у дитячій групі. Також встановили кореляцію між розподілом НДС і больовими відчуттями, провели оцінку НДС залежно від віку та різних форм деформацій грудної клітки. Отримані результати можна використовувати для прогнозування рецидивів і управління болем, які виникають після операції.

Такий самий підхід до створення моделі грудної клітки та моделювання операції за D. Nuss наведено в дослідженнях P. Chang (2010) [4], в яких побудована об'ємна індивідуальна модель апроксимована тетраедрами, що враховувала всі особливості будови грудної клітки конкретного пацієнта, але у створеній моделі не враховано хребетного стовбура. Аналіз результатів моделювання показав, що напруження виникає з третього по сьоме ребро по задній поверхні грудної клітки та на рівні з'єднання грудни з четвертим ребром. Результати НДС при величині підйомного зусилля порівнювалися з експериментальним дослідженням та не виходили за межі діапазону $180 \pm 48,3$ Ньютонів, що підтверджує адекватність розробленого підходу. Автори сподіваються,

що подальше удосконалення моделі грудної клітки дасть змогу визначати кількість пластин і місця їх розташування, а також досягнути гарної корекції при мінімальних рівнях напруження.

У 2010 р. T. Nagasao та ін. [17] розглянули вплив операції за методом D. Nuss на хребетний стовп при асиметричній лікоподібній деформації. Підходи до створення моделі грудної клітки, визначення модуля пружності біологічних тканин і спосіб навантаження моделей повністю збігаються з підходами, описаними в роботі [16]. Оцінка зміни форми хребетного стовпа при моделюванні здійснювалася за такими критеріями: зміна форми оцінювалася як погіршення, якщо хребетний стовп вигинався в напрямку початкового вигину; зміна форми оцінювалася як поліпшення, якщо хребетний стовп вигинався в напрямку, протилежному первинному вигину. Якщо початковий вигин хребетного стовпа спрямований вліво, то спрямовані вліво опорні реакції сприятимуть його виправленню і навпаки. Отримані результати можна використати під час планування хірургічного лікування лікоподібної деформації у пацієнтів із викривленням хребта. Прикладом може слугувати планування операції пацієнта, у якого увігнутість передньої стінки грудної клітки розташована зліва, а вигин хребетного стовпа спрямований у правий бік. У цій ситуації існує висока ймовірність посилення викривлення хребетного стовпа, тому, можливо, слід утриматися від виконання операції за D. Nuss і розглянути інші методи хірургічного лікування.

Q. Zhao та ін. (2014) [25] запропонували моделювання грудної клітки за допомогою клінічної не-контрастної комп'ютерної томографії, сегментування ребер, грудни, реберних хрящів, трирозмірних анатомічних кривих із використанням математичних розрахунків. Змодельовану грудну клітку зіставляли зі здоровою грудною кліткою і підбирали відповідну пластину. Визначили середню деформацію грудни – $49,71 \pm 10,11$ мм.

У повідомленнях Д.О. Грибова та ін. (2014) [7] описали побудовані індивідуальні моделі грудної клітки з урахуванням хребетного стовпа. Провели двоетапне дослідження операції за D. Nuss. На першому етапі моделювали відхилення грудни, а на другому – проводили підстановку пластини та вирішували контактне завдання. Використаний підхід складний у реалізації і не дає змоги врахувати всіх можливостей цієї системи, зокрема, не враховано суглобове з'єднання ребер із хребтом і не проведено моделювання функціональних змін хребетного стовпа.

L. Xie (2017) [24] для поліпшення ортопедичного ефекту запропонували методику індивідуального проектування форми пластини та її положення за грудиною. На основі комп'ютерної томографії побудували тримірну модель грудної клітки без урахування хребетного стовпа, яку обробили за допомогою МСЕ для визначення плану операції. Змодельовали різні плани операції, коли пластина знаходилась у 2, 3, 4, 5 міжребер'ї, та виконали підйом грудини на 15 мм, 20 мм, 25 мм, 30 мм і 35 мм. Результати оцінили за допомогою індексу Галлера і розподілу НДС після проведення пластини. Встановили, що розташування пластини у 4 міжребер'ї з підйомом грудини на 30 мм є оптимальним для корекції деформації. Але ці моделі не враховують хребетного стовпа, а також відмічається висока вартість виготовлення індивідуальної пластини.

K. Lin та ін. (2018) [14] за допомогою автоматизованого 3D-принтера виготовили жорсткі тримірні моделі деформації грудної клітки на основі зображення КТ, проектували, формували та виготовляли пластину з полімолочної кислоти, цю операцію називали процедурою 3DPMAN (3D Printed Model-Assisted Nuss). Автори застосували 3DPMAN процедуру лише в 14 пацієнтів, яким виконана операція D. Nuss, визначили переваги передопераційного планування в скороченні часу втручання, поліпшенні показників за індексом Галлера [11]. Але методика дуже трудомістка, потребує спеціального обладнання та високовартісна.

L. Wang та ін. (2020) [23] у 6 пацієнтів виконали реконструкцію грудної клітки на основі зображення КТ, виготовили гнучкі тримірні моделі з використанням 3D-друку. За допомогою цих моделей розробили індивідуальний хірургічний підхід і виготовили пластини на замовлення. Автори вважають за доцільне використовувати гнучкі тримірні моделі для передопераційного планування оперативного втручання при лікоподібній деформації грудної клітки. Але в моделі не розраховується вплив корекції деформації на хребет, метод потребує високотехнологічного обладнання.

Підсумовуючи, з одного боку, побудова спрощених моделей грудної клітки дає змогу швидко проводити дослідження, але ці спрощення не дозволяють об'єктивно оцінити вплив і взаємодію різних елементів складної біомеханічної системи «грудина-ребра-хребет». З іншого боку, складні моделі мають більшу достовірність, але малодоступні в реалізації у зв'язку з надвисокою технологічністю і вартістю.

Крім того, у дослідженнях НДС на моделях грудної клітки наявність хребетного стовпа або взаємо-

дія ребер із хребцями вивчена недостатньо. Коли в роботах із моделювання транспортних аварій це виправдано внаслідок опори хребта на сидіння, то при моделюванні виправлення деформацій грудної клітки відсутність урахування рухомості суглобових з'єднань і гнучкості хребетного стовпа може привести до некоректних і хибних результатів.

Висновки

Отже, аналіз літературних джерел виявив відсутність опису комплексної методики, яка дає змогу проводити оцінку післяопераційного НДС компонентів грудної клітки, пластини і прогнозувати результати майбутньої операції. Тому перспективним є створення методики моделювання ВЛДГК та її хірургічної корекції за умов, наближених до реальності. Це дасть можливість розробити раціональну модифікацію торакопластики ВЛДГК на основі операції D. Nuss за умов одномоментної повноцінної стабільної корекції та мінімальних біомеханічних навантажень у системі «грудина-ребра-хребет».

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References/Література

1. Awrejcewicz J, Luczak B. (2005). Minimally invasive pectus excavatum repair procedure – numerical study. 8th conference on Dynamical Systems Theory and Application: 12–15.
2. Awrejcewicz J, Luczak B. (2006). Dynamics of human thorax with Lorenz pectus bar. XXII SYMPOSIUM – VIBRATIONS IN PHYSICAL SYSTEMS. Poznań-Będlewo.
3. Brochhausen C, Turial S, Müller FK, Schmitt VH, Coerdet W, Wilhelm JM, Schier F, Kirkpatrick CJ. (2012). Pectus excavatum: history, hypotheses and treatment options. Interactive cardiovascular and thoracic surgery. 14 (6): 801–806. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivs045>.
4. Chang PY, Hsu ZY, Lai JY, Wang CJ, Ching YT. (2010). Increase in Intrathoracic Volume in Pectus Excavatum Patients after the Nuss Procedure. Medical Biological Engineering Computing. 48: 133–137. doi: 10.1007/s11517-009-0570-9.
5. Dean C, Etienne D, Hindson D, Matusz P, Tubbs RS, Loukas M. (2012). Pectus excavatum (funnel chest): a historical and current prospective. Surgical and radiologic anatomy: SRA. 34 (7): 573–579. <https://doi.org/10.1007/s00276-012-0938-7>.
6. Fokin AA, Steuerwald NM, Ahrens WA, Allen KE. (2009). Anatomical, histologic, and genetic characteristics of congenital chest wall deformities. Seminars in thoracic and cardiovascular surgery. 21 (1): 44–57. <https://doi.org/10.1053/j.semtcvs.2009.03.001>.
7. Gavryushin SS, Kuzmichev VA, Gribov DA. (2014). Biomechanical modeling of surgical treatment of chest deformity. Russian Journal of Biomechanics, 18 (1): 36–47. [Гаврюшин СС, Кузьмичев ВА, Грибов ДА. (2014). Биомеханическое моделирование хирургического лечения деформации грудной клетки. Российский журнал биомеханики. 18 (1): 36–47].
8. Goremykin IV, Pogosyan KL, Lukyanenko EA. (2012). Correlation of the degree of funnel chest deformity with the severity of connective tissue dysplasia in children. Saratov Journal of Medical Scientific Research. 8 (3): 842–844. [Горемыкин ИВ,

Огляди

- Погосян КЛ, Лукьяненко ЕА. (2012). Соотношение степени воронкообразной деформации грудной клетки с тяжестью дисплазии соединительной ткани у детей. Саратовский научно-медицинский журнал. 8 (3): 842–845].
9. Hebra A, Calder BW, Leshner A. (2016). Minimally invasive repair of pectus excavatum. Journal of visualized surgery. 2: 73. <https://doi.org/10.21037/jovs.2016.03.21>.
 10. Hebra A, Kelly RE, Ferro MM, Yüksel M, Campos J, Nuss D. (2018). Life-threatening complications and mortality of minimally invasive pectus surgery. Journal of pediatric surgery. 53 (4): 728–732. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2017.07.020>.
 11. Huang YJ, Lin KH, Chen YY, Wu TH, Huang HK, Chang H, Lee SC, Chen JE, Huang TW. (2019). Feasibility and Clinical Effectiveness of Three-Dimensional Printed Model-Assisted Nuss Procedure. The Annals of thoracic surgery. 107 (4): 1089–1096.
 12. Komolkin IA, Agranovich OE. (2017). Clinical variants of chest deformities (literature review). The genius of orthopedics. 23 (2): 241–247. [Комолкин ИА, Агранович ОЕ. (2017). Клинические варианты деформаций грудной клетки (обзор литературы). Гений ортопедии. 23 (2): 241–247]. doi: 10.18019/1028-4427-2017-23-2-241-247.
 13. Kotzot D, Schwabegger AH. (2009). Etiology of chest wall deformities a genetic review for the treating physician. Journal of pediatric surgery. 44 (10): 2004–2011. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2009.07.029>.
 14. Lin KH, Huang YJ, Hsu HH, Lee SC, Huang HK, Chen YY, Chang H, Chen JE, Huang TW. (2018). The Role of Three-Dimensional Printing in the Nuss Procedure: Three-Dimensional Printed Model-Assisted Nuss Procedure. Ann Thorac Surg. 105 (2): 413–417. doi: 10.1016/j.athoracsurg.2017.09.031.
 15. Lo PC, Tzeng IS, Hsieh MS, Yang MC, Wei BC, Cheng YL. (2020). The Nuss procedure for pectus excavatum: An effective and safe approach using bilateral thoracoscopy and a selective approach to use multiple bars in 296 adolescent and adult patients. PLoS One. May 29; 15 (5): e0233547. doi: 10.1371/journal.pone.0233547.
 16. Nagasao T, Miyamoto J, Tamaki T, Ichihara K, Jiang H, Taguchi T, Yozu R, Nakajima T. (2007). Stress distribution on the thorax after the Nuss procedure for pectus excavatum results in different patterns between adult and child patients. The Journal of thoracic and cardiovascular surgery. 134 (6): 1502–1507. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2007.08.013>.
 17. 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.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2010.06>.
 18. Notrica DM. (2018). Modifications to the Nuss procedure for pectus excavatum repair: A 20-year review. Semin Pediatr Surg. 27 (3): 133–150. doi: 10.1053/j.sempedsurg.2018.05.004.
 19. Nuss D, Obermeyer RJ, Kelly RE. (2016). Nuss bar procedure: past, present and future. Ann Cardiothorac Surg. 5 (5): 422–433. doi: 10.21037/acs.2016.08.05.
 20. Park CH, Kim TH, Haam SJ, Lee S. (2015). Rib overgrowth may be a contributing factor for pectus excavatum: Evaluation of prepubertal patients younger than 10years old. Journal of pediatric surgery. 50 (11): 1945–1948. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2015.07.010.
 21. Razumovsky AY, Alkhasov AB, Mitupov ZB et al. (2017). Comparative evaluation of treatment results with different methods of thoracoplasty in children with funnel chest deformity. Russian Bulletin of Pediatric Surgery, Anesthesiology and Reanimatology. 7 (2): 7–12. [Разумовский АЮ, Алхасов АБ, Митупов ЗБ и др. (2017). Сравнительная оценка результатов лечения при различных способах торакопластики у детей с воронкообразной деформацией грудной клетки. Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии. 7 (2): 7–12]. doi: 10.17816/PTORS615-13.
 22. Stelmakhovich VN, Dudenkov VV, Dyukov AA. (2017). Treatment of funnel chest deformity in children. Pediatric Traumatology, Orthopedics and Reconstructive Surgery. 5 (3): 17–21. [Стельмахович ВН, Дуденков ВВ, Дюков АА. (2017). Лечение воронкообразной деформации грудной клетки у детей. Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 5 (3): 17–21]. doi: 10.17816/PTORS5317-24.
 23. Wang L, Guo T, Zhang H, Yang S, Liang J, Guo Y, Shao Q, Cao T, Li X, Huang L. (2020). Three-dimensional printing flexible models: a novel technique for Nuss procedure planning of pectus excavatum repair. Annals of translational medicine. 8 (4): 110. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.12.124>.
 24. Xie L, Cai S, Xie L, Chen G, Zhou H. (2017). Development of a computer-aided design and finite-element analysis combined method for customized Nuss bar in pectus excavatum surgery. Sci Rep. 14; 7 (1): 3543. doi: 10.1038/s41598-017-03622-y.
 25. Zhao Q, Safdar N, Duan C, Sandler A, Linguraru MG. (2014). Chest Modeling and Personalized Surgical Planning for Pectus Excavatum. 17. 512–519. doi: 10.1007/978-3-319-10404-1_64.

Відомості про авторів:

Дігтяр Валерій Андрійович – д.мед.н., проф., зав. каф. дитячої хірургії, ортопедії та травматології Дніпровського ДМУ. Адреса: м. Дніпро, вул. Космічна, 13; тел. (056) 713-63-11. <https://orcid.org/0000-0002-3182-2512>

Камінська Маріанна Олегівна – к.мед.н., доц. каф. дитячої хірургії, ортопедії та травматології Дніпровського ДМУ. Адреса: м. Дніпро, вул. Космічна, 13; тел. (056) 713-63-11. <https://orcid.org/0000-0001-5895-9562>

Стаття надійшла до редакції 13.02.2021 р., прийнята до друку 17.05.2021 р.