



# ХІРУРГІЯ ДИТЯЧОГО ВІКУ (УКРАЇНА)

PAEDIATRIC SURGERY (UKRAINE) <sup>4 (89)</sup> 2025

Передплатний індекс 60162



Київ 2025 р.

ГРУПА КОМПАНІЙ  
**«МедЕксперт»**  
медичні видання,  
конференції і семінари  
маркетингові дослідження  
[med-expert.com.ua](http://med-expert.com.ua)



**Контакти редакції**  
Відповідальний редактор:  
Шейко Ірина  
Олександрівна  
+3 044-498-08-80  
+3 097-110-34-20  
[pediatr@med-expert.com.ua](mailto:pediatr@med-expert.com.ua)

## ЗАПРОШУЄМО АВТОРІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО СПІВПРАЦІ

**Видавництво ТОВ «Група компаній МедЕксперт»** випускає журнали для лікарів різних спеціальностей. Ми створюємо видання європейського зразка з іноваційним для України підходом до формування наповнення кожного випуска і висвітлення профільної тематики. Нашими експертами є не лише визнані українські вчені, але й провідні фахівці країн Балтії, Польщі, Великої Британії, Молдови, Франції, Італії, Туреччини, Ізраїлю, Китаю та інших. Усі наші журнали доступні для читачів і мають авторитет у фаховому середовищі. Кожен із них надійно закріпив за собою позиції кращого у спеціалізованих рейтингах.

**«Український  
журнал  
Перинатологія  
і педіатрія»**



**«Український  
журнал  
Здоров'я  
жінки»**



**«Сучасна педіатрія.  
Україна»**



**«Хірургія  
дитячого віку.  
Україна»**



**Всі журнали включені в Перелік наукових фахових видань України (категорії А та Б), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.**

Визнанням авторитетності наших журналів є те, що всі вони входять у міжнародні наукометричні бази. Статтям присвоюється цифровий ідентифікатор об'єкта DOI.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ ІМЕНІ П.Л. ШУПИКА  
ВСЕУКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ ДИТЯЧИХ ХІРУРГІВ  
ТОВ «ГРУПА КОМПАНІЙ «МЕД ЕКСПЕРТ»

# ХІРУРГІЯ ДИТЯЧОГО ВІКУ (УКРАЇНА)

науково-практичний спеціалізований журнал

## ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

**Котенко О.Г.**, доктор мед. наук, професор, керівник Центру хірургії печінки та підшлункової залози (Київ, Україна)

## ШЕФ-РЕДАКТОР

**Толстанов О.К.**, доктор мед. наук, професор, проректор з навчально-педагогічної роботи НУОЗ України імені П.Л. Шупика (Київ)

**Русак П.С.**, доктор мед. наук, професор кафедри дитячої хірургії НУОЗ України імені П.Л. Шупика, завідувач хірургічним відділенням №1 Житомирської обласної дитячої клінічної лікарні (Житомир, Україна)

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

**АльДжахдалі А.** (Альхобар, Саудівська Аравія)

**Бабучі С.І.** (Кишинів, Молдова)

**Бензар І.М.** (Київ, Україна)

**Боднар О.Б.** (Чернівці, Україна)

**Вдовиченко Ю.П.** (Київ, Україна)

**Веселий С.В.** (Лиман, Україна)

**Вороненко Ю.В.** (Київ, Україна)

**Годік О.С.** (Київ, Україна)

**Горбатюк О.М.** (Київ, Україна)

**Гудумак Є.М.** (Кишинів, Молдова)

**Данилов О.А.** (Київ, Україна)

**Дігтяр В.А.** (Дніпро, Україна)

**Ємець І.М.** (Київ, Україна)

**Запорожан С.Й.** (Тернопіль, Україна)

**Йокіч Р.** (Новий Сад, Сербія)

**Калічінський П.** (Варшава, Польща)

**Капуллер В.** (Єрусалим, Ізраїль)

**Козинець Г.П.** (Київ, Україна)

**Коноплицький В.С.** (Вінниця, Україна)

**Косаковський А.Л.** (Київ, Україна)

**Кривченя Д.Ю.** (Київ, Україна)

**Ксьонз І.В.** (Полтава, Україна)

**Левицький А.Ф.** (Київ, Україна)

**Ліма М.** (Болонья, Італія)

**Лопез М.** (Барселона, Іспанія)

**Лосев О.О.** (Одеса, Україна)

**Мюнтер Х.** (Лондон, Великобританія)

**Наконечний А.Й.** (Львів, Україна)

**Патковський Д.** (Вроцлав, Польща)

**Переяслов А.А.** (Львів, Україна)

**Петербурзький В.Ф.** (Київ, Україна)

**Петерсонс А.** (Рига, Латвія)

**Погорілий В.В.** (Вінниця, Україна)

**Притула В.П.** (Київ, Україна)

**Ротенберг С.** (Денвер, США)

**Руденко Н.М.** (Київ, Україна)

**Саламон Й.** (Клагенфурт, Австрія)

**Слепов О.К.** (Київ, Україна)

**Спахі О.В.** (Запоріжжя, Україна)

**Текюл С.** (Анкара, Туреччина)

**Усенко О.Ю.** (Київ, Україна)

**Фархат В.** (Торонто, Канада)

**Фофанов О.Д.** (Івано-Франківськ, Україна)

**Храпач В.В.** (Київ, Україна)

**Чаудерна П.** (Гданськ, Польща)

**Ченг В.** (Пекін, Китай)

**Черіан А.** (Лондон, Великобританія)

**Шевчук Д.** (Львів, Україна)

**Юркевич Б.** (Варшава, Польща)

## НАУКОВІ КОНСУЛЬТАНТИ

**Боднар Б.М.** (Чернівці, Україна)

**Давиденко В.Б.** (Харків, Україна)

**Лазоришенець В.В.** (Київ, Україна)

**Макаров А.В.** (Київ, Україна)

**Горелік В.В.** (Київ, Україна)

**Ніколаєва Н.Г.** (Одеса, Україна)

**Гончар В.В.** (Київ, Україна)

**Кулик О.М.** (Львів, Україна)

**НАУКОВИЙ РЕДАКТОР Верголяс М.Р.** (Київ, Україна)

## СЕКРЕТАРІАТ

**Кузик А. С.** (Львів, Україна) –  
відповідальний секретар

**Момотов А.О.** (Київ, Україна)

**Доманський О.Б.** (Київ, Україна)

**Мельниченко М.Г.** (Одеса, Україна)

**Пономаренко О.П.** (Київ, Україна)

**Рибальченко В.Ф.** (Київ, Україна)

**Наконечний Р.А.** (Львів, Україна)

**Видавець ТОВ «Група компаній «Мед Експерт»**

Свідцтво про державну реєстрацію ЗМІ

КВ № 25172-15112ІПР від 21.02.2022 р.

Видається з 2003 р.

Періодичність виходу — 4 рази на рік

Наказом МОН України №185 від 20.02.2023 р. журнал «Хірургія дитячого віку» включено до Переліку наукових фахових видань України, **категорія А**, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових фахових ступенів доктора і кандидата наук

Затверджено Вченою радою Національного університету охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика Протокол від 17.12.2025 № 10  
Підписано до друку 26.12.2025 р.

Журнал «Хірургія дитячого віку (Україна)» реферується Інститутом проблем реєстрації інформації НАН України

**Адреса для листування:**

ТОВ «Група компаній Мед Експерт»,

«Хірургія дитячого віку (Україна)»,

а/с 80, м. Київ-211, Україна, 04211

Тел./факс: +38 044 498-08-80

E-mail: [pediatric.surgery.ukraine@gmail.com](mailto:pediatric.surgery.ukraine@gmail.com);

[pediatr@med-expert.com.ua](mailto:pediatr@med-expert.com.ua)

<http://med-expert.com.ua/>

Формат 60х90/8. Папір офсетний.

Ум. друк. арк. 16. Обл.-вид. арк. 13,95.

Загальний наклад 1 000 прим.

Зам. 27.12/01 від 27.12.2025 р.

Надруковано з готових фотоформ у типографії «Аврора-принт»,

м. Київ, вул. Причальна, 5, тел. +38 (044) 550-52-44

Свідцтво суб'єкта видавничої справи:

A00 № 777897 від 06.07.2009 р.

Всі статті рецензовані. Повний або частковий передрук або тиражування у будь-який спосіб матеріалів, опублікованих у цьому виданні, допускається лише за письмовим дозволом редакції. Відповідальність за зміст рекламних матеріалів несе рекламодавець.

Журнал «Хірургія дитячого віку (Україна)» включений у наукометричні, реферативні та пошукові бази даних: **Scopus, DOAJ, WorldCat, BASE, Sherpa Romeo, Google Scholar, CrossRef, Джерело**. Статтям журналу присвоюється DOI.

© Національний університет охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика, 2025

© Всеукраїнська асоціація дитячих хірургів, 2025

© ТОВ «Група компаній «Мед Експерт», 2025

**Київ 2025**

SHUPYK NATIONAL HEALTHCARE UNIVERSITY OF UKRAINE

UKRAINIAN ASSOCIATION PAEDIATRICS SURGERY

GROUP OF COMPANIES MED EXPERT, LLC

# PAEDIATRIC SURGERY (UKRAINE)

Scientific and Practical Journal

## EDITOR-IN-CHIEF

**Kotenko O.G.**, Doctor of Medical Sciences, Professor, Shief of Hepatopancreatic Surgery Centr (Kyiv, Ukraine)

## CHIEF EDITOR

**Tolstanov O.K.**, Doctor of Medical Sciences, Professor, First Deputy Rector of the Shupyk National Healthcare University of Ukraine (Kyiv)

**Rusak P.S.**, Doctor of Medical Sciences, Professor of Pediatric Surgery Department Shupyk National Healthcare University of Ukraine ; Head of Department pediatric surgery of Zhytomyr Regional Children's Clinical Hospital (Zhytomyr, Ukraine)

## EDITORIAL BOARD

|                                               |                                                |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>AlJahdali A.</b> (Alkhobar, Saudi Arabia)  | <b>Losev O.O.</b> (Odesa, Ukraine)             |
| <b>Babuci S.</b> (Kishinev, Moldova)          | <b>Munther H.</b> (London, Great Britain)      |
| <b>Benzar I.M.</b> (Kyiv, Ukraine)            | <b>Nakonechnyi A.Y.</b> (Lviv, Ukraine)        |
| <b>Bodnar O.B.</b> (Chernivtsi, Ukraine)      | <b>Patkowski D.</b> (Wroclaw, Poland)          |
| <b>Vdovichenko Yu.P.</b> (Kyiv, Ukraine)      | <b>Pereyaslov A.A.</b> (Lviv, Ukraine)         |
| <b>Veseliy S.V.</b> (Liman, Ukraine)          | <b>Peterburgskiy V.F.</b> (Kyiv, Ukraine)      |
| <b>Voronenko Yu.V.</b> (Kyiv, Ukraine)        | <b>Petersons A.</b> (Riga, Latvia)             |
| <b>Godik O.S.</b> (Kyiv, Ukraine)             | <b>Pogoriliy V.V.</b> (Vinnytsia, Ukraine)     |
| <b>Gorbatyuk O.M.</b> (Kyiv, Ukraine)         | <b>Pritula V.P.</b> (Kyiv, Ukraine)            |
| <b>Gudumak E.M.</b> (Chisinau, Moldova)       | <b>Rothenberg S.</b> (Denver, USA)             |
| <b>Danylov O.A.</b> (Kyiv, Ukraine)           | <b>Rudenko N.M.</b> (Kyiv, Ukraine)            |
| <b>Digtyar V.A.</b> (Dnipro, Ukraine)         | <b>Shalamon J.</b> (Klagenfurt, Austria)       |
| <b>Emetc I.M.</b> (Kyiv, Ukraine)             | <b>Sliepov O.K.</b> (Kyiv, Ukraine)            |
| <b>Zaporozhan S.Y.</b> (Ternopil, Ukraine)    | <b>Spahy O.V.</b> (Zaporizhzhia, Ukraine)      |
| <b>Jokic R.</b> (Novi Sad, Serbia)            | <b>Tekgul S.</b> (Ankara, Turkey)              |
| <b>Kaliciński P.</b> (Warsaw, Poland)         | <b>Usenko O.Yu.</b> (Kyiv, Ukraine)            |
| <b>Kapuller V.</b> (Jerusalem, Israel)        | <b>Farhat W.</b> (Toronto, Canada)             |
| <b>Kozinetc G.P.</b> (Kyiv, Ukraine)          | <b>Fofanov O.D.</b> (Ivano-Frankivsk, Ukraine) |
| <b>Konopliyskiy B.S.</b> (Vinnytsia, Ukraine) | <b>Hrapach V.V.</b> (Kyiv, Ukraine)            |
| <b>Kosakovskiy A.L.</b> (Kyiv, Ukraine)       | <b>Czauderna P.</b> (Gdansk, Poland)           |
| <b>Krivchenya D.Yu.</b> (Kyiv, Ukraine)       | <b>Cheng W.</b> (Beijing, China)               |
| <b>Ksyonz I.V.</b> (Poltava, Ukraine)         | <b>Cherian A.</b> (London, Great Britain)      |
| <b>Kutcenok Ya.B.</b> (Kyiv, Ukraine)         | <b>Shevchuk D.</b> (Lviv, Ukraine)             |
| <b>Levitckiy A.F.</b> (Kyiv, Ukraine)         | <b>Jurkiewicz B.</b> (Warsaw, Poland)          |
| <b>Lima M.</b> (Bologna, Italy)               |                                                |
| <b>Lopez M.</b> (Barcelona, Spain)            |                                                |

## SCIENTIFIC ADVISERS

|                                           |                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Bodnar B.M.</b> (Chernivtsy, Ukraine)  | <b>Gorelyk V.V.</b> (Kyiv, Ukraine)    |
| <b>Davidenko V.B.</b> (Kharkiv, Ukraine)  | <b>Nikolaeva N.G.</b> (Odesa, Ukraine) |
| <b>Lazorishenetc V.V.</b> (Kyiv, Ukraine) | <b>Gonchar V.V.</b> (Kyiv, Ukraine)    |
| <b>Makarov A.V.</b> (Kyiv, Ukraine)       | <b>Kulik O.M.</b> (Lviv, Ukraine)      |

**SCIENTIFIC EDITOR Vergolyas M.R.** (Kyiv, Ukraine)

## SECRETARIAT

|                                                         |                                          |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Kuzyk A.S.</b> (Lviv, Ukraine) – Executive Secretary | <b>Melnichenko M.G.</b> (Odesa, Ukraine) |
| <b>Momotov A.O.</b> (Kyiv, Ukraine)                     | <b>Ponomarenko O.P.</b> (Kyiv, Ukraine)  |
| <b>Domanskiy O.B.</b> (Kyiv, Ukraine)                   | <b>Rybalchenko V.F.</b> (Kyiv, Ukraine)  |
|                                                         | <b>Nakonechnyi R.A.</b> (Lviv, Ukraine)  |

**Publisher - Group of companies MedExpert, LLC**

Certificate of registration of KB No. 25172-15112IIP of 21.02.2022

Published since 2003 p.

Periodicity - 4 times a year

By the order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 185 from February 20, 2023, the journal «Paediatric Surgery. Ukraine» was included in the List of specialized scientific editions of Ukraine in the field of medical sciences, **category A**

Recommended by the Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Protocol No. 10, 17.12.2025  
*Signed for publication* 26.12.2025

The journal «Paediatric Surgery (Ukraine)» abstracted by the Institute of Information Recording Problems of Ukraine

## Mailing address:

Group of Companies Med Expert, LLC,  
«Paediatric Surgery (Ukraine)»,  
p/b 80, Kyiv, 04211, Ukraine,  
Tel./fax: +38 044 498-08-80  
E-mail: [pedsurgery@med-expert.com.ua](mailto:pedsurgery@med-expert.com.ua);  
[pedsurgery@med-expert.com.ua](mailto:pedsurgery@med-expert.com.ua);  
<http://med-expert.com.ua>

Format 60x90/8. Offset paper.

Conventional printed sheet. 13,95.

Total circulation is 1 000 copies.

Ord. No. 27.12/01, 27.12.2025

Printed in the «Aurora-print» printing house,

5, Prichalnaya Str., Kyiv, tel. (044) 550-52-44

Certificate A00 No. 777897 from 06.07.2009 y.

All articles reviewed. Total or partial copy of materials published in this publication at any way is available only by the letter of permission of the journal staff. Advertiser is responsible for the content of advertising materials.

Indexed and/or presented in: **Scopus, DOAJ, World-Cat, BASE, Sherpa Romeo, Google Scholar, Cross-Ref, Djerelo.**

© Shupyk National Healthcare University of Ukraine, 2025

© Ukrainian Association Paediatric Surgery, 2025

© Group of Companies MedExpert, LLC, 2025

**Kyiv 2025**

## Зміст

### ПОДІЇ

- 6 Кузик А.С., Прытула В.П., Наконечний А.Й., Русак П.С.  
XIX з'їзд Польського товариства дитячих хірургів.  
м. Люблін (Республіка Польща) 11–13 вересня  
2025 року

### ОРИГІНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ. ЗАГАЛЬНА ХІРУРГІЯ

- 10 Богачук М.Г.  
Клініко-гемодинамічні предиктори  
регенераторного успіху у пацієнтів із гнійно-  
запальними інфекціями м'яких тканин на фоні  
цукрового діабету 2 типу: прогностична модель  
(англійською)

### ОРИГІНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ. НЕОНАТАЛЬНА ХІРУРГІЯ

- 15 Слепов О.К., Знак К.Л.  
Анатомічні особливості різних за розмірами  
дефектів діафрагми та їхнє значення при  
природженій діафрагмальній грижі  
в новонароджених дітей (українською)

### ОРИГІНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ. РОБОТИЧНА ХІРУРГІЯ

- 21 Дворакевич А.О., Кулик О.М., Шевчук Д.В.,  
Калінчук О.О., Міськів І.П., Шурмакевич З.Б.  
Застосування роботичної хірургії в лікуванні кіст  
селезінки в дітей (українською)

### ОРИГІНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ. ТОРАКАЛЬНА ХІРУРГІЯ

- 25 Слепов О.К., Данилов О.А., Слепов Є.О.  
Хірургічна корекція природженої діафрагмальної  
евентерації в дітей (українською)
- 32 Козлов С.М., Косей Н.В., Лещинська Н.О.,  
Яковенко Н.О., Назаров Я.С., Козлов О.С..  
Порівняльний аналіз стратегій вторинної  
профілактики кровотеч із варикозно розширених  
вен стравоходу при клінічно маніфестній  
портальній гіпертензії: 12-річне одноцентрове  
дослідження (англійською)

## Content

### EVENTS

- 6 Kuzyk A.S., Prytula V.P., Nakonechny A.Y., Rusak P.S.  
XIX Congress of the Polish Society of Pediatric  
Surgeons. Lublin (Republic of Poland)  
September 11–13, 2025

### ORIGINAL ARTICLES. GENERAL SURGERY

- 10 Bohachuk M.H.  
Clinical and hemodynamic predictors of regenerative  
success in patients with purulent-inflammatory soft  
tissue infections and type 2 diabetes: a prognostic model  
(in English)

### ORIGINAL ARTICLES. NEONATAL SURGERY

- 15 Slepov O.K., Znak K.L.  
Anatomical features of diaphragmatic defects of various  
sizes and their significance in congenital diaphragmatic  
hernia in newborns (in Ukrainian)

### ORIGINAL ARTICLES. ROBOTIC SURGERY

- 21 Dvorakevych A.O., Kulyk O.M., Shevchuk D.V.,  
Kalinchuk O.O., Miskiv I.P., Shurmakevych Z.B.  
Application of robotic surgery in the treatment of  
splenic cysts in children (in Ukrainian)

### ORIGINAL ARTICLES. THORACIC SURGERY

- 25 Sliepov O.K., Danilov O.A., Sliepov Ie.O.  
Surgical correction of congenital diaphragmatic  
eventration in children (in Ukrainian)
- 32 Kozlov S.M., Kosei N.V., Leshchynska N.O.,  
Yakovenko N.O., Nazarov Ya.S., Kozlov O.S..  
Comparative analysis of secondary prophylaxis  
strategies for esophageal variceal bleeding in clinically  
manifest portal hypertension: a 12-year single-center  
study (in English)

## ОРИГІНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ. ОРТОПЕДІЯ

- 41 *Лябах А.П., Турчин О.Ф., Омельченко Т.М.*  
Подовжувальна остеотомія п'яткової кістки  
в лікуванні гнучкої плоскої стопи в дітей  
(англійською)
- 47 *Курисько К.С., Левицький А.Ф.*  
Роль інтраопераційного нейрофізіологічного  
моніторингу в пацієнтів дитячого віку під час  
хірургічного лікування ідіопатичного сколіозу  
(українською)

## ОРИГІНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ. АБДОМІНАЛЬНА ХІРУРГІЯ

- 54 *Курило Г.В., П'єц В.О., Грищак Д.І.*  
Біопсія в прогнозуванні морфологічних змін після  
трансплантації печінки в дітей (українською)
- 59 *Калінчук О.О., Кулик О.М., Шевчук Д.В.,  
Дворакевич А.О., Міськів І.П.*  
Хірургічна тактика лікування пухлин печінки  
в дітей (українською)
- 65 *Чаварга М.І., Гербут С.Ф., Шпиряха Я.С., Тезза О.І.,  
Стан Н.Й.*  
Досвід застосування лапароскопії в хірургічному  
лікуванні гострого апендициту в дітей  
(українською)

## ОРИГІНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ. УРОЛОГІЯ ТА ГІНЕКОЛОГІЯ

- 76 *Наконеchnий Й.А.*  
Модифікована задня підтримка везикоуретрального  
анастомозу при екстраперитонеоскопічній  
радикальній простатектомії (англійською)

## ОРИГІНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ. КОЛОПРОКТОЛОГІЯ

- 83 *Фофанов О.Д., Фофанов В.О., Матіяш О.Я.,  
Глагович М.В.*  
Результати хірургічного лікування аноректальних  
мальформацій у дітей (українською)

## ОГЛЯДИ

- 93 *Максименко О.С., Гринь В.Г., Савченко Р.Б.,  
Мюнстерер О., Спрінгер А.*  
Біосумісність і механізми асептичного запалення  
при використанні шовних матеріалів у хірургії  
(англійською)

## ORIGINAL ARTICLES. ORTHOPEDICS

- 41 *Liabakh A.P., Turchyn O.A., Omelchenko T.M.*  
Calcaneal lengthening osteotomy in the treatment  
of flexible flatfoot in children  
(in English)
- 47 *Kurysko K.S., Levytskyi A.F.*  
The role of intraoperative neurophysiological  
monitoring in pediatric patients during surgical  
treatment of idiopathic scoliosis

## ORIGINAL ARTICLES. ABDOMINAL SURGERY

- 54 *Kurylo H.V., Pjets V.O., Hrytsak D.I.*  
Liver biopsy in predicting morphological changes after  
liver transplantation in children (in Ukrainian)
- 59 *Kalinchuk O.O., Kulyk O.M., Shevchuk D.V.,  
Dvorakevych A.O., Miskiv I.P.*  
Surgical management strategy for liver tumors  
in children (in Ukrainian)
- 65 *Chavarha M.I., Gerbut S.F., Spryakha Ya.S., Tehza O.I.,  
Stan N.J.*  
Experience with laparoscopy in the surgical treatment  
of acute appendicitis in children  
(in Ukrainian)

## ORIGINAL ARTICLES. UROLOGY AND GYNECOLOGY

- 76 *Nakonechnyi Y.A.*  
Vesicourethral anastomosis modified posterior support  
in extraperitoneoscopic radical prostatectomy  
(in English)

## ORIGINAL ARTICLES. COLOPROCTOLOGY

- 83 *Fofanov O.D., Fofanov V.O., Matiyash O.Y.,  
Glagovych M.V.*  
Results of surgical treatment of anorectal malformations  
in children (in Ukrainian)

## REVIEWS

- 93 *Maksymenko O.S., Hryn V.H., Savchenko R.B.,  
Muensterer O., Springer A.*  
Biocompatibility and mechanisms of aseptic  
inflammation in the use of suture materials in surgery  
(in English)

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>101</b> <i>Левицький А.Ф., Соболевський Ю.Л., Лиходій В.В., Ковальчук Д.Ю.</i><br/>Нейроваскулярні порушення при надвиросткових переломах плечової кістки в дітей і підлітків (українською)</p> <p><b>109</b> <i>Солейко Д.С.</i><br/>Використання моделей ex vivo, in vitro, мікрофлюїдних пристроїв, технологій тканинної інженерії, визначення їхньої етико-деонтологічної складової в експериментальних дослідженнях хвороби Крона та інших запальних захворювань кишечника (українською)</p> <p><b>123</b> <i>Нестерук С.О.</i><br/>Морфофункціональні зміни яєчка під впливом екзогенних чинників: патогенетичні механізми і клінічне значення (українською)</p> <p><b>130</b> <i>Сорока В.П., Трохимович О.В., Головкевич В.В.</i><br/>Постнатальні аспекти порушення функції тазових органів у дітей з вадами розвитку – крижово-куприковими тератомами, після їх резекції (огляд літератури) (українською)</p> | <p><b>101</b> <i>Levytskyi A.F., Sobolevskiy Y.L., Lykhodii V.V., Kovalchuk D.Y.</i><br/>Neurovascular disorders in supracondylar fractures of the distal humerus in children and adolescents (in Ukrainian)</p> <p><b>109</b> <i>Soleiko D.S.</i><br/>The use of ex vivo, in vitro models, microfluidic devices, tissue engineering technologies, the determination of their ethical and deontological components in experimental studies of Crohn's disease and other inflammatory bowel diseases (in Ukrainian)</p> <p><b>123</b> <i>Nesteruk S.O.</i><br/>Morphofunctional changes of the testis under the influence of exogenous factors: pathogenetic mechanisms and clinical significance (in Ukrainian)</p> <p><b>130</b> <i>Soroka V.P., Trokhymovych O.V., Holovkevych V.V.</i><br/>Postnatal aspects of pelvic organ dysfunction in children with developmental defects – sacrococcygeal teratomas, after their resection (literature review) (in Ukrainian)</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## ДО УВАГИ АВТОРІВ!

### АЛГОРИТМ РЕЄСТРАЦІЇ ORCID

Open Researcher and Contributor ID (ORCID) – міжнародний ідентифікатор науковця.

Створення єдиного реєстру науковців та дослідників на міжнародному рівні є найбільш прогресивною та своєчасною ініціативою світового наукового товариства. Ця ініціатива була реалізована через створення в 2012 році проекту Open Researcher and Contributor ID (ORCID). ORCID – це реєстр унікальних ідентифікаторів вчених та дослідників, авторів наукових праць та наукових організацій, який забезпечує ефективний зв'язок між науковцями та результатами їх дослідницької діяльності, вирішуючи при цьому проблему отримання повної і достовірної інформації про особу вченого в науковій комунікації.

Для того щоб зареєструватися в ORCID через посилання <https://orcid.org/> необхідно зайти у розділ «For researchers» і там натиснути на посилання «Register for an ORCID iD». В реєстраційній формі послідовно заповнюються обов'язкові поля: «First name», «Last name», «E-mail», «Re-enter E-mail», «Password» (Пароль), «Confirm password»

В перше поле вводиться ім'я, яке надане при народженні, по-батькові не вводиться. Персональна електронна адреса вводиться двічі для підтвердження. Вона буде використовуватися як Login або ім'я користувача. Якщо раніше вже була використана електронна адреса, яка пропонується для реєстрації, з'явиться попередження червоного кольору. **Неможливе створення нового профілю з тією ж самою електронною адресою.** Пароль повинен мати не менше 8 знаків, при цьому містити як цифри, так і літери або символи. Пароль, який визначається словами «Good» або «Strong» приймається системою..

Нижче визначається «Default privacy for new works», тобто налаштування конфіденційності або доступності до персональних даних, серед яких «Public», «Limited», «Private».

Далі визначається частота повідомлень, які надсилає ORCID на персональну електронну адресу, а саме, новини або події, які можуть представляти інтерес, зміни в обліковому записі, тощо: «Daily summery», «Weekly summery», «Quarterly summery», «Never». Необхідно поставити позначку в полі «I'm not a robot» (Я не робот).

Для реєстрації необхідно прийняти умови використання, натиснувши на позначку «I consent to the privacy policy and conditions of use, including public access and use of all my data that are marked Public».

Заповнивши поля реєстраційної форми, необхідно натиснути кнопку «Register», після цього відкривається сторінка профілю учасника в ORCID з особистим ідентифікатором ORCID ID. Номер ORCID ідентифікатора знаходиться в лівій панелі під ім'ям учасника ORCID.

Структура ідентифікатора ORCID являє собою номер з 16 цифр. Ідентифікатор ORCID - це URL, тому запис виглядає як <http://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx>.

Наприклад: <http://orcid.org/0000-0001-7855-1679>.

Інформацію про ідентифікатор ORCID необхідно додавати при подачі публікацій, документів на гранти і в інших науково-дослідницьких процесах, вносити його в різні пошукові системи, наукометричні бази даних та соціальні мережі.

Подальша робота в ORCID полягає в заповненні персонального профілю згідно із інформацією, яку необхідно надавати.

А.С. Кузик<sup>1</sup>, В.П. Притула<sup>2</sup>, А.Й. Наконечний<sup>1</sup>, П.С. Русак<sup>3</sup>

# XIX з'їзд Польського товариства дитячих хірургів

м. Люблін (Республіка Польща)

11–13 вересня 2025 року

<sup>1</sup>ДНТ «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького»

<sup>2</sup>Національний медичний університет імені О.О. Богомольця

<sup>3</sup>Національний університет охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика

*Делегація українських дитячих хірургів на чолі з Президентом Всеукраїнської асоціації дитячих хірургів професором Притулою В.П. відвідала XIX з'їзд Польського товариства дитячих хірургів, який відбувся 11–13 вересня 2025 року в м. Люблін (Республіка Польща) на запрошення польської сторони. Візит став важливою подією в розвитку професійної взаємодії та продовження тривалої українсько-польської співпраці у сфері дитячої хірургії.*

Участь української делегації організована за сприяння віцепрезидента Всеукраїнської асоціації дитячих хірургів, доцента Кузика А.С. До складу делегації також увійшли Президент Асоціації лікарів дитячих хірургічних спеціальностей України професор Русак П.С., завідувач кафедри дитячої хірургії ДНТ «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького» професор Наконечний А.Й., професор кафедри дитячої хірургії з травматологією та ортопедією Полтавського державного медичного університету Ксьонз І.В. та інші лікарі дитячі хірурги України.

Загальним лейтмотивом цього річного з'їзду було гасло «Новітні технології та інновації і їх роль в дитячій хірургії». Учасники конгресу обговорювали як результати впровадження сучасних технологій у щоденну клінічну практику, так і перспективи подальшого розвитку спеціальності в умовах швидкої зміни медичних підходів, технологічних можливостей та організаційних викликів.

## Інаугураційна промова: етика, право та відповідальність у високотехнологічній медицині

Важливим вступним елементом наукової програми стала інаугураційна промова професорки Юстини Естери Круль-Цалковської – докторки медичних наук, докторки права, викладачки Медичного університету в Лодзі та професорки Університету Лазарського у Варшаві під назвою: «Ius est ars boni et aequi (лат. «Право є мистецтвом добра

і справедливості)» – чи медичне право є мистецтвом чи загрозою?».

У своїй доповіді вона наголосила на значенні правових та етичних аспектів у сучасній медицині, а також на необхідності забезпечення відповідальності, якості та безпечності лікування, особливо у високотехнологічних напрямках хірургії.

Зокрема, доповідачка поставила слухачам філософське запитання: «Чи є роботизовані операції завжди правильним рішенням?» Для роздумів над ним вона навела цитати відомого письменника-фантаста Станіслава Лема, уродженця Львова, з його збірки «Кіберіада»: «Є два види мудрості: одна дає змогу діяти, інша ж – утримує від дії». Також прозвучала його думка про межі взаємодії людини й технологій: «Іноді люди створюють роботів, а іноді роботи – людей. І те, чи мислити металом чи киселем, не має жодного значення».

Наступним дискусійним і актуальним питанням стала відповідальність за шкоду, завдану програмами штучного інтелекту, які дедалі частіше інтегруються в медицину. Доповідачка наголосила, що відсутність свідомості в штучного інтелекту не дає змоги передбачати ним настання шкоди та здійснювати свідомі дії, спрямовані на запобігання її виникненню. Відтак юридична відповідальність у таких ситуаціях може бути покладена на розробника програмного забезпечення, постачальника або користувача відповідної технології.

У контексті цивільної відповідальності за шкоду, завдану штучним інтелектом, найбільш важливим є вибір принципу відповідальності з-поміж: прин-



Зліва направо: д-р Дворакевич А.О., доц. Кузик А.С., проф. Притула В.П., проф. Ксьонз І.В., проф. Русак П.С.

ципу вини, принципу ризику, принципу вини у нагляді, а також принципу відповідальності за небезпечний продукт.

### Секція «Медицина поля бою»

Важливим і емоційно сильним моментом з'їзду стала секція «Медицина поля бою», під час якої лікар-кардіохірург Університетської лікарні ДНТ «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького» Дмитро Бешлей представив доповідь «Виклики, що постають перед мобілізованим хірургом у військовому шпиталі на першій лінії фронту». Виступ справив велике враження на польських колег і став основою для відвертої дискусії щодо роботи лікарів в умовах війни в Україні.

### Новітні технології та інновації в дитячій хірургії

Окрема секція присвячена новим технологіям та інноваціям у дитячій хірургії, зокрема, роботизованим підходам. Професор Пйотр Чаудерна прочитав концептуальну лекцію «Chirurgio, quo vadis? (Хірургіє, куди прямуєш?). Від «бойової розвідки – до роботів і штучного інтелекту», яка стала своєрідним вступом до ширшого обговорення ролі роботичних платформ у дитячій хірургії і урології та їхнього по-

тенціалу в майбутньому. Завершуючи виступ, професор поставив аудиторії запитання: «Чому варто бути дитячим хірургом?», а потім поділився власними відповідями, які знайшли відгук у багатьох учасників з'їзду:

- це не шлях для тих, хто шукає престижу, легкої роботи чи емоційної дистанції;
- це покликання для тих, хто прагне використувати максимум своїх інтелектуальних і хірургічних можливостей, щоб допомагати найбільш незахищеним пацієнтам;
- це привілей дарувати дитині шанс на здорове життя;
- це нагорода, що триває все життя – і для пацієнта, і для хірурга.

Науковий інтерес викликали також виступи польських колег, присвячені практичним аспектам впровадження роботизованих технологій у клінічну роботу: від підбору пацієнтів і визначення показань до особливостей формування команди, навчання персоналу, стандартизації процесів та оцінювання результатів лікування. Окремо детально окреслені ключові переваги та обмеження роботизованої хірургії в педіатричній практиці.

Зокрема, д-р Рафал Хшан у доповіді «Стан роботизованої хірургії в педіатрії Польщі – мультицентровий звіт» повідомив, що за період 15.05.2024 –

## Events



Українська делегація разом із Президентом Польського Товариства дитячих хірургів, проф. Павлом Нахулевичем (Люблін, Польща) та проф. Мартіном Ляхером (Лейпциг, Німеччина)



Доповідає професор Мартін Ляхер (Лейпциг, Німеччина)

30.06.2025 у Польщі виконано 236 роботизованих процедур: Краків – 166, Зельона Гура – 47, Вроцлав – 23. Загалом проведено 30 різних типів втручань на органах грудної клітки, черевної порожнини та малого таза. 63 операції (27%) стосувалися онкогематологічної патології. Найчастіше виконували холецистектомію – 49 (21%) та пієлопластику – 47 (20%). Наведені дані вказують на активний розвиток роботизованої хірургії в Польщі та свідчать про поступове розширення спектра втручань у дитячій практиці.

Вагомим акцентом секції стала доповідь професора Даріуша Патковського (Вроцлав), у якій він особливо наголосив на необхідності централізації хірургічної допомоги новонародженим. Як аргумент доповідач навів результати мультицентрового дослідження зі США «Resource use in infants undergoing esophageal atresia repair at major children's hospitals» (Anne M. Sescleifer та співавт., Surgery, 2025), у якому проаналізовано результати лікування атрезії стравоходу за період 2014–2021 рр. За наведеними даними, дослідження охопило 47 лікарень і 993 новонароджених. Середня кількість випадків на один центр за період дослідження становила 21,6 (діапазон – 3–55). Частота неспроможності анастомозу склала 29,7%, летальність – 5,2%. Частка торакоскопічних втручань становила 13%. Середня вартість лікування однієї дитини сягала 545 000 дол. США (від 302 000 до 1 130 000 дол. США). Наведені цифри підкреслюють високу складність неонатальної хірургії, значні ресурсні потреби та важливість концентрації таких пацієнтів у спеціалізованих центрах із достатнім досвідом і мультидисциплінарною підтримкою.

Окремо варто відзначити лекцію професора Йорга Фукса (Німеччина) «Робот-асистована хірургія в дитячій хірургії». У своїй доповіді професор детально висвітлює історичні етапи розвитку роботичних технологій і навів дані щодо зареєстрованих у світі роботизованих хірургічних втручань у дітей. Йорг Фукс зробив акцент на клінічних перевагах роботичних систем під час операцій у складних анатомічних зонах, зокрема, на підвищенні точності маніпуляцій, поліпшенні ергономіки роботи хірурга та можливостях мінімізації травматизації тканин. Окремо наголошено на важливості правильної підготовки команди та ретельного відбору клінічних випадків для досягнення оптимальних результатів лікування.

Доповідь професора Мартіна Ляхера (Німеччина) «Роботизована хірургія в дітей» доповнила секційне обговорення практичними висновками щодо показань, вибору методик та перспектив подальшого розвитку цього напрямку, зокрема, його інтеграції в стандарти лікування в окремих категоріях пацієнтів. Окрему увагу доповідач приділив проблемі високої вартості роботизованих систем. Зокрема, він навів приклад комплексу DaVinci Xi з подвійною консоллю, придбаного для Університетської клініки Ляйпцига за кошти гранта Німецького дослідницького фонду (DFG): 3 млн євро – вартість системи, 208 тис. євро/рік – її сервісне обслуговування, 300–450 євро на операцію – витрати на використання трьох інструментів.

Як приклад розвитку сучасних роботичних платформ професор Ляхер навів публікацію «And then there was one ... incision. First single-port pediatric robotic case series» (Candace Granberg et al., J Pediatr Urol., 2023), у якій автори з Mayo Clinic (США) опи-



З польськими колегами

сали серію втручань із застосуванням однопортової роботичної системи. Прооперовано 6 пацієнтів, яким виконано пієлопластику, та 1 пацієнта, якому виконано робот-асистовану процедуру Мітрофанова. Через поперечний розріз по лінії Пфанненштиля (2,5 см) встановлено 25-міліметровий мультиканальний порт. Використано артикульовану роботичну камеру 12×10 мм і два 6-міліметрові артикульовані роботичні інструменти. Середня тривалість операції становила 120 хв.

Доповідач також акцентував на перевагах систем Da Vinci та їхньому глобальному поширенні: на сьогодні кількість встановлених роботів цієї платформи перевищує 10 000 і зростає приблизно на 14% щороку. За опублікованими даними, ці системи збирають 10–20 млн годин хірургічних даних на рік, що створює передумови для розвитку алгоритмів штучного інтелекту. Серед перспективних цілей розвитку: 2030 р. – напіваавтономне розпізнавання трикутника Кало, 2035 р. – автономне перетинання жовчної протоки та артерії, 2040 р. – автономна дисекція жовчного міхура з печінкового ложа. На завершення професор Ляхер навів слова засновника Apple Стіва Джобса: «Інновація – це здатність бачити зміни як можливість, а не як загрозу» (BusinessWeek, листопад 2003 року).

## Інші важливі міжнародні виступи та секційні напрями

Серед міжнародних доповідей, що викликали значний інтерес учасників, варто відзначити лекції: «200 років реконструкції опіків: що пішло не так?» (д-р Матіас Донелан, США) та «Заміщення стравоходу: як, коли і чому» (професор Маріо Ліма, Італія), які доповнили наукову програму сучасними підходами в реконструктивній і дитячій хірургії.

Окрема секція з'їзду присвячена дитячій урології, у межах якої обговорювали актуальні питання лікування вроджених вад, сучасних ендоскопічних підходів і перспективи розвитку мініінвазивної дитячої урології.

Під час робочих зустрічей української та польської сторін обговорено продовження тривалої співпраці: взаємні відвідування клінік, можливість проведення спільних операцій, а також перспективи стажувань для молодих українських дитячих хірургів у польських медичних центрах. Участь у XIX з'їзді Польського товариства дитячих хірургів вкотре підтвердила значення міжнародної професійної солідарності та підтримки України, а також сприяла обміну досвідом і впровадженню сучасних технологій у практику дитячої хірургії.

M.H. Bohachuk

# Clinical and hemodynamic predictors of regenerative success in patients with purulent-inflammatory soft tissue infections and type 2 diabetes: a prognostic model

National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsia, Ukraine

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 10-14. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).1014

**For citation:** Bohachuk MH. (2025). Clinical and hemodynamic predictors of regenerative success in patients with purulent-inflammatory soft tissue infections and type 2 diabetes: a prognostic model. Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 10-14. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).1014.

Surgical management of purulent-inflammatory soft tissue diseases (PISTD) in patients with comorbid type 2 diabetes mellitus (T2DM) remains a critical challenge for modern healthcare. The fundamental problem is the formation of a «regenerative plateau» – a state of metabolic stagnation where the healing process stalls in a prolonged inflammatory phase.

**Aim** – to enhance the surgical treatment efficacy in patients with PISTD and T2DM by implementing a synergistic therapeutic protocol based on muramyl peptide-derived immunomodulators and prostaglandin E1 (PGE1) analogues.

**Materials and methods.** A prospective clinical study included 148 patients with PISTD and T2DM, randomized into a Control group (CG, n=72) and a Main group (MG, n=76) receiving systemic muramyl peptide immunocorrection and PGE1 therapy. Microcirculation was evaluated using laser Doppler flowmetry (LDF), and wound dynamics were assessed via computer planimetry. Statistical analysis was performed using Statistica 12.0 software ( $p \leq 0.05$ ).

**Results.** It was established that in the MG, clinical resolution of local edema and pain syndrome occurred 1.57 times faster than in the CG ( $p \leq 0.05$ ), and body temperature normalization was 1.69 times faster. The use of PGE1 helped eliminate capillary sludge syndrome, ensuring a 59.3% reduction in wound area by day 10 and a decrease in the length of hospital stay ( $9.4 \pm 1.3$  days in the MG vs  $16.1 \pm 2.2$  days in the CG). The obtained data indicate that the synergistic strategy can effectively overcome metabolic stagnation.

**Conclusions.** The integrated use of muramyl peptides and PGE1 significantly improves PISTD treatment outcomes by synchronizing regional blood flow with a targeted immune response.

The study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. Informed consent was obtained from all participants.

The author declares no conflict of interest.

**Keywords:** purulent-inflammatory soft tissue diseases, type 2 diabetes mellitus, muramyl peptides, prostaglandin E1, wound healing, regenerative plateau.

**Клініко-гемодинамічні предиктори регенераторного успіху у пацієнтів із гнійно-запальними інфекціями м'яких тканин на фоні цукрового діабету 2 типу: прогностична модель**

**М.Г. Богачук**

Вінницький національний медичний університет імені М.І. Пирогова, Україна

Хірургічне лікування гнійно-запальних захворювань м'яких тканин (ГЗЗМТ) при цукровому діабеті 2 типу (ЦД2) ускладнюється формуванням «регенераторного плато» – станом метаболічної стагнації.

**Мета** – підвищити ефективність лікування пацієнтів із ГЗЗМТ та ЦД2 шляхом впровадження синергічного протоколу на основі мурамілпептидів та простагландину E1 (ПГЕ1).

**Матеріали та методи.** У дослідження залучено 148 пацієнтів, розподілених на контрольну групу (КГ, n=72) та основну групу (ОГ, n=76), де застосовували імунотерапію та терапію ПГЕ1. Оцінку проводили методами моніторингу лазерної доплерівської флоуметрії та комп'ютерної планіметрії. Статистичну обробку проведено за допомогою програми Statistica 12.0 ( $p \leq 0,05$ ).

**Результати.** В ОГ редукція набряку та болю відбувалася в 1,57 рази швидше ( $p \leq 0,05$ ), а нормалізація температури – в 1,69 рази швидше, ніж у КГ. Застосування ПГЕ1 забезпечило зменшення площі ран на 59,3% до 10-ї доби та скорочення терміну госпіталізації (9,4±1,3 доби в ОГ проти 16,1±2,2 доби в КГ). Отримані дані свідчать про те, що синергічна стратегія дозволяє ефективно подолати метаболічну стагнацію регенерації.

**Висновки.** Комплексне використання мурамілпептидів та ПГЕ1 достовірно покращує результати лікування за рахунок синхронізації кровотоку та імунної відповіді.

Дослідження проведено відповідно до принципів Гельсінської декларації. Від усіх учасників отримано інформовану згоду.

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** гнійно-запальні захворювання м'яких тканин, цукровий діабет 2 типу, мурамілпептиди, простагландин E1, загоєння ран, регенераторне плато.

## Introduction

The surgical management of purulent-inflammatory soft tissue diseases (PISTDs) in patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM) remains a critical challenge for modern healthcare systems globally [1,9]. Despite advancements in revascularization and antibiotic therapy, the risk of major amputations and chronic disability remains alarmingly high. Recent epidemiological data from The Lancet indicate that the global prevalence of diabetic foot ulcers exceeds 6.3%, with a 5-year mortality rate comparable to many aggressive malignancies [5,11].

The fundamental problem lies in the pathophysiology of the so-called «regenerative plateau» – a metabolic stagnation where the wound healing process stalls in the prolonged inflammatory phase [4,8]. According to the latest IWGDF 2023 guidelines, this stagnation is driven by a complex interplay of microvascular collapse (capillary sludge syndrome) and a profound «functional paralysis» of the innate immune response [12,14]. Persistent hyperglycemia leads to the formation of advanced glycation end-products (AGEs), which impair the bactericidal capacity of neutrophils and delay macrophage phenotypic switching from M1 (pro-inflammatory) to M2 (pro-reparative) [3,6].

Standard surgical debridement often fails to restart the repair sequence because it doesn't address the regional hemodynamic failure [2,13]. Recent studies in Nature Reviews Endocrinology emphasize the necessity of a «perfusion window» to deliver oxygen and immunocompetent cells to the necrotic focus [9,10].

While separate therapies (vasoactive or immunomodulatory) have shown limited success, a synergistic strategy remains underexplored [7,15]. This study investigates the synchronized application of muramyl peptide-derived immunomodulators to reboot cellular immunity and prostaglandin E1 analogues to restore microcirculation. By aligning these two therapeutic vec-

tors, we aim to overcome the metabolic stalling of regeneration and achieve predictable clinical outcomes.

**The aim** of the study was to enhance the surgical treatment efficacy in patients with PISTD and comorbid T2DM by implementing a synergistic therapeutic protocol based on muramyl peptide-derived immunomodulators and prostaglandin E1 analogues to overcome the «regenerative plateau.»

## Materials and methods of the study

A prospective clinical study included 148 patients with PISTD and T2DM treated at the surgical departments of the National Pirogov Memorial Medical University. Demographic characteristics. The study groups were comparable in terms of age and gender. In the Main Group (MG), the average age was 62.4±4.8 years, with a gender distribution of 53.9% (n=41) males and 46.1% (n=35) females. In the Control Group (CG), the average age was 61.8±5.2 years, including 52.8% (n=38) males and 47.2% (n=34) females ( $p > 0.05$ ). Most patients were in the late adulthood or early elderly stage, which is typical for the clinical course of T2DM.

Patients were divided into:

- CG (n=72): received standard surgical debridement and systemic antibiotic therapy;
- MG (n=76): received standard care plus a synergistic complex of systemic muramyl peptide immunocorrection and prostaglandin-E1 vasoactive therapy.

Monitoring included Laser Doppler Flowmetry (LDF) for microcirculation and computer planimetry for wound area assessment.

Statistical processing of the obtained data was performed using Statistica 12.0 and Microsoft Excel 2021. The distribution of data was assessed using the Shapiro-Wilk test. For normally distributed continuous variables, the results are presented as the mean ± standard error of the mean ( $M \pm m$ ). To compare the significance

## Original articles. General surgery

**Table 1**

Comparative analysis of treatment duration and regression of clinical symptoms, days (M±m)

| Clinical features / repair phases   | Control group (n=72) | Main group (n=76) | Clinical acceleration index |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------------|
| Pain relief                         | 7.33±0.28            | 4.66±0.22*        | 1.57                        |
| Completion of necrolysis            | 5.22±0.27            | 2.46±0.37*        | 2.12                        |
| Resolution of local hyperemia       | 8.44±0.36            | 6.18±0.23*        | 1.37                        |
| Regression of edema/infiltration    | 8.28±0.14            | 5.63±0.21*        | 1.47                        |
| Appearance of granulation tissue    | 9.22±0.24            | 5.72±0.26*        | 1.61                        |
| Onset of marginal epithelialization | 8.92±0.42            | 6.56±0.24*        | 1.36                        |

Note: \* – statistical significance compared to CG (p≤0.05).

**Table 2**

Dynamics of body temperature normalization and systemic inflammatory response regression (M±m)

| Study Groups (n=148) | Baseline body temperature on admission, °C | Day of temperature normalization | Thermal Stabilization Index |
|----------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Control (n=72)       | 37.67±0.21                                 | 6.46±0.37                        | 1.00                        |
| Main (n=76)          | 37.42±0.15                                 | 3.83±0.19*                       | 1.69                        |

Note: \* – statistical significance compared to CG (p≤0.05).

**Table 3**

Daily dynamics of systemic inflammatory response regression based on thermometry, °C (M±m)

| Observation period | Main group (n=76) | Control group (n=72) | Pyrexia regression index |
|--------------------|-------------------|----------------------|--------------------------|
| Day 1              | 37.42±0.15        | 37.68±0.21           | 1.00                     |
| Day 3              | 37.12±0.18*       | 37.85±0.13           | 1.02                     |
| Day 5              | 36.81±0.05*       | 37.43±0.12           | 1.11                     |
| Day 10             | 36.44±0.12*       | 36.96 ± 0.08         | 1.21                     |

Note: \* – statistical significance compared to the Control group (p≤0.05).

**Table 4**

Dynamics of planimetric indicators of the wound healing process, % (M±m)

| Study groups (n=148) | Wound area reduction rate | Wound volume reduction rate | Regeneration intensification index |
|----------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Main (n=76)          | 6.53±1.3*                 | 13.23±1.39*                 | 2.51                               |
| Control (n=72)       | 2.53±0.98                 | 5.42±1.29                   | 1.00                               |

Note: \* – statistical significance compared to the Control group (p≤0.05).

of differences between the independent study groups (MG and CG), the Student's t-test was applied. For multiple comparisons, one-way ANOVA (Analysis of variance) followed by post-hoc analysis was used. Differences were considered statistically significant at a confidence level of p≤0.05.

The study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki.

## Results of the study and discussion

The implementation of the developed synergistic protocol significantly accelerated the transition of the wound process from the inflammatory to the reparative phase. In the MG, the clinical resolution of local edema and pain syndrome occurred 1.57 times faster compared to the CG (p≤0.05). Systematic clinical observation revealed a high degree of correlation between the onset of

marginal epithelialization and the stabilization of the regional hemodynamic background (Table 1).

The analysis of the systemic inflammatory response showed that body temperature normalization in patients receiving the combined immunomodulatory and vasoactive therapy occurred 1.69 times faster than in those receiving standard care (Table 2).

Detailed evaluation of the systemic inflammatory response through daily thermometric monitoring revealed a more stable and predictable regression of pyrexia in the MG (Table 3). By the 3<sup>rd</sup> day of the synergistic treatment, a statistically significant decrease in body temperature was recorded, which correlated with the early transition of the wound process into the reparative phase. The Pyrexia Regression Index reached 1.21 by the end of the observation period, reflecting the restoration of metabolic homeostasis.

Wound Dynamics. Objective monitoring of the repair process using computer planimetry confirmed the superiority of the proposed protocol, showing a 59.3% reduction in wound area by day 10 ( $p \leq 0.001$ ) (Table 4).

*Duration of treatment.* The implementation of the synergistic protocol significantly reduced the length of hospital stay by 6.7 days. The average duration was  $9.4 \pm 1.3$  days in the MG compared to  $16.1 \pm 2.2$  days in the CG.

The core pathophysiological obstacle in managing purulent-inflammatory soft tissue infections in T2DM patients is the «regenerative plateau» – a state of chronic metabolic stagnation. Our findings suggest that standard debridement protocols often fail because they address the morphological defect without correcting the underlying microvascular collapse and immune inertia.

The observed clinical success is fundamentally linked to the restoration of the regional microcirculatory bed. By applying prostaglandin E1 analogues, we effectively addressed the «capillary sludge» syndrome, creating a so-called «perfusion window». This hemodynamic optimization ensured the targeted delivery of muramyl peptide immunomodulators directly to the infection focus.

This synchronization of the targeted immune response with vascular recovery reboots the bactericidal potential of neutrophils and facilitates early macrophage phenotypic switching. As a result, the transition to the reparative phase occurs 3-4 days earlier, which is statistically and clinically significant. Our results align with the modern IWGDF (International Working Group on the Diabetic Foot) 2023 concept but offer a more pathogenetically grounded and cost-effective solution for improving tissue restitution and reducing the risk of chronic disability [4]. The core pathophysiological obstacle in managing PISTD in T2DM patients is the «regenerative plateau». Our findings align with the observations of D.G. Armstrong et al. (2023), who emphasize that standard protocols often fail to address the underlying microvascular collapse [1]. The observed clinical success in our study is fundamentally linked to the restoration of the microcirculatory bed. As noted by N.C. Schaper et al. (2024), creating a «perfusion window» is critical for delivering metabolic support to the necrotic focus [11].

By applying PGE1 analogues, we effectively addressed the «capillary sludge» syndrome, which, according to B.A. Lipsky et al. (2020) is a key barrier to antibiotic and immune cell penetration [9]. This synchronization reboots the bactericidal potential of neutrophils, a mechanism supported by the research of M.H. Bohachuk (2019) regarding muramyl peptide efficacy [2]. Our results offer a more pathogenetically grounded solution compared to traditional methods described by E. Everett

& N. Mathioudakis (2021), ensuring faster tissue restitution and reducing the risk of disability [4]. Our findings suggest that standard debridement protocols often fail because they don't correct underlying microvascular collapse [1,11]. As highlighted by Y. Huang et al. (2021), microcirculatory dysfunction is a primary barrier to the delivery of both systemic antibiotics and endogenous immune cells [6]. By applying PGE1, we effectively addressed this «capillary sludge», aligning with the modern management concepts proposed by K. McDermott et al. (2023) [10]. This synchronization facilitates the transition to the reparative phase, which is frequently delayed by local interfering conditions in diabetic patients, as noted by L. Uccioli et al. (2022) [13].

## Conclusions

The synergistic application of muramyl peptide-derived immunomodulators and prostaglandin E1 analogues effectively overcomes the «regenerative plateau» by synchronizing regional blood flow with a targeted immune response directly within the infection focus.

The clinical efficacy of the protocol is confirmed by a 59.3% wound area reduction by day 10 and a significant acceleration of local symptoms regression.

The integrated approach ensures stable clinical outcomes and reduces the average hospital stay to  $9.4 \pm 1.3$  days, demonstrating high medical and economic efficiency.

*The authors declare no conflict of interest.*

## References/Література

1. Armstrong DG, Boulton AJM, Bus SA. (2023). Diabetic foot ulcers and their recurrence. *New England Journal of Medicine*. 388(20): 1858-1867.
2. Bohachuk MH. (2019). Muramyl peptide immunomodulation in soft tissue infections. *Clinical Anatomy and Operative Surgery*. 18(3): 21-25. doi: 10.24061/1727-0847.18.3.2019.4.
3. Boulton AJM. (2023). The diabetic foot: Grand challenge for the 21st century. *Diabetes Care*. 46(2): 235-247. doi: 10.2337/dci22-0051.
4. Everett E, Mathioudakis N. (2021). Update on management of diabetic foot ulcers. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1411(1): 153-165. doi: 10.1111/nyas.13569.
5. Frykberg RG, Banks J. (2020). Challenges in the treatment of chronic wounds. *Surgical Technology International*. 36: 120-128. PMID: 32131006.
6. Huang Y, Cao Y, Liang J, Wu M, Yu K et al. (2021). Microcirculatory dysfunction in diabetic foot ulcers: A review of mechanisms and methods of assessment. *Frontiers in Endocrinology*. 12: 730605. doi: 10.3389/fendo.2021.730605
7. IWGDF Guidelines. (2023). International guidelines on the prevention and management of diabetic foot disease. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*: e3657. doi: 10.1002/dmrr.3657.
8. Lazzarini PA, Pacella RE, Armstrong DG, Van Netten JJ, Bus SA et al. (2022). Global epidemiology of diabetic foot ulceration: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*. 10(5): 315-332. doi: 10.1016/S2213-8587(22)00046-9.

## Original articles. General surgery

---

9. Lipsky BA, Berendt AR, Deery HG, Embil JM, Joseph WS et al. (2020). Diagnosis and treatment of diabetic foot infections. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*. 8(6): 467-478. doi: 10.1016/S2213-8587(20)30110-5.
10. McDermott K, Fang M, Boulton AJM, Selvin E, Hicks CW. (2023). Etiology, Epidemiology, and Disparities in the Burden of Diabetic Foot Ulcers. *Diabetes Care*. 46(1): 209-221. doi: 10.2337/dci22-0043.
11. Schaper NC, Van Netten JJ, Apelqvist J, Lipsky BA, Bakker K et al. (2024). Prevention and management of foot problems in diabetes. *Nature Reviews Endocrinology*. 20: 112-125. doi: 10.1038/s41574-023-00911-x.
12. Sen CK. (2021). Human wound and its burden: Updated 2020 estimates. *Advances in Wound Care*. 10(5): 281-292. doi: 10.1089/wound.2021.0026.
13. Uccioli L, Izzo V, Meloni M, Vainieri E, Ruotolo V et al. (2022). Non-healing foot ulcers in diabetic patients: General and local interfering conditions. *Diabetes Care*. 45(1): 124-135. doi: 10.2337/dc21-0810.
14. Zhang P, Lu J, Jing Y, Tang S, Zhu D et al. (2017). Global epidemiology of diabetic foot ulceration. *Annals of Medicine*. 49(2): 106-116. doi: 10.1080/07853890.2016.1231932
15. Zheliba MD, Bohachuk MH. (2018). Morphofunctional state of leukocytes in PISTD and T2DM. *Art of Medicine*. (4): 74-78. doi: 10.21802/artm.2018.4.8.74.

---

### Відомості про автора:

**Богачук Максим Григорович** – асистент каф. ендоскопічної та серцево-судинної хірургії ВНМУ ім. М.І. Пирогова.  
Адреса: м. Вінниця, вул. Пирогова, 56. <https://orcid.org/0000-0002-9493-7632>.

Стаття надійшла до редакції 06.10.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.

УДК 611.26-004.932-053.1:616.26-056.7-053.31

О.К. Слепов, К.Л. Знак

## Анатомічні особливості різних за розмірами дефектів діафрагми та їхнє значення при природженій діафрагмальній грижі в новонароджених дітей

*Центр неонатальної хірургії вад розвитку та їх реабілітації ДУ «Всеукраїнський центр материнства та дитинства НАМН України», м. Київ*

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 15-20. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).1520

**For citation:** Slepov OK, Znak KL. (2025). Anatomical features of diaphragmatic defects of various sizes and their significance in congenital diaphragmatic hernia in newborns. Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 15-20. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).1520.

Вивчення анатомічних особливостей дефектів діафрагми різних типів і розмірів при природженій діафрагмальній грижі (ПДГ) має важливе значення для вдосконалення хірургічних стратегій та оптимізації лікування цих пацієнтів.

**Мета** – проаналізувати анатомічні особливості різних за величиною дефектів діафрагми при ПДГ у новонароджених дітей як важливого чинника розроблення хірургічної тактики при цій ваді розвитку.

**Матеріали і методи.** Проаналізовано анатомічні особливості різних за розмірами дефектів діафрагми в 58 новонароджених дітей із ПДГ, які були на лікуванні у 2013–2025 рр. Залежно від величини дефекту діафрагми новонароджених із ПДГ поділено на дві групи: I група – 38 (65,5%) дітей із малими і середніми за розмірами дефектами діафрагми (типи А і В), II група – 20 (34,5%) пацієнтів із великими і тотальними дефектами діафрагми (типи С і D). Інтраопераційно досліджено: бік і локалізацію дефекту діафрагми, наявність гризового мішка, характер гризового вмісту. Враховано герніацію: петель тонкої і товстої кишок, шлунка, селезінки, підшлункової залози (частково або повністю), лівої/правої нирки, печінки (частково або повністю), великого сальника, жовчного міхура. Особливу увагу приділено задньому валику дефекту діафрагми.

**Результати.** Середня площа дефекту діафрагми в пацієнтів II групи достовірно була більшою порівняно з I групою. Достовірної різниці між частотою наявності гризового мішка, частотою лівобічних і правобічних дефектів діафрагми між групами не виявили. Задньо-латеральну локалізацію дефекту достовірно частіше відзначали в пацієнтів I групи. Задньо-медіальне розташування спостерігали переважно в пацієнтів II групи. Часткову або повну герніацію печінки та шлунка в грудну порожнину достовірно частіше виявляли в пацієнтів II групи.

**Висновки.** При дефектах діафрагми типів А і В локалізація ПДГ достовірно частіше задньо-латеральна. Розмір дефекту діафрагми не впливає на бік ПДГ, а також на анатомічні особливості його заднього м'язового валика. При великих і тотальних дефектах діафрагми достовірно частіше відбувається герніація шлунка і печінки в грудну клітку. Вивчення анатомічних особливостей дефектів діафрагми різних типів і розмірів при ПДГ має важливе значення для оптимізації хірургічного лікування цієї критичної вади розвитку.

Дослідження виконано згідно з принципами Гельсінської декларації. Протокол дослідження ухвалено локальним етичним комітетом інституту. На проведення досліджень отримано інформовану згоду батьків дітей.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** природжена діафрагмальна грижа, природжений дефект діафрагми, його анатомічні особливості, прогноз, плід, новонароджена дитина.

## Original articles. Neonatal surgery

### Anatomical features of diaphragmatic defects of various sizes and their significance in congenital diaphragmatic hernia in newborns

O.K. Slepov, K.L. Znak

Center for Neonatal Surgery of Developmental Defects and Their Rehabilitation SI «Ukrainian center of maternity and childhood of the NAMS of Ukraine», Kyiv

Studying the anatomical characteristics of diaphragmatic defects of various types and sizes in congenital diaphragmatic hernia (CDH) is crucial for improving surgical strategies and optimizing treatment for these patients.

**Aim** – to analyze the anatomical features of diaphragmatic defects of varying sizes in CDH in newborns as a key factor in developing surgical strategies for this congenital malformation.

**Materials and methods.** We analyzed the anatomical features of diaphragmatic defects of varying sizes in 58 newborns with CDH who were treated between 2013 and 2025. Depending on the size of the diaphragmatic defect, newborns with CDH were divided into 2 groups: Group I – 38 (65.5%) infants with small and medium-sized diaphragmatic defects (types A and B), Group II – 20 (34.5%) patients with large and total diaphragmatic defects (types C and D). The following were examined intraoperatively: the side and location of the diaphragmatic defect, the presence of a hernial sac, and the nature of the hernial contents. Herniation was assessed: loops of the small and large intestines, stomach, spleen, pancreas (partially or completely), left/right kidney, liver (partially or completely), greater omentum, gallbladder. Particular attention was paid to the presence of a posterior rim of the diaphragmatic defect.

**Results.** The mean area of the diaphragmatic defect in patients in Group II was significantly larger than in Group I. No significant differences were found between the groups in the frequency of hernial sac presence or the frequency of left-sided and right-sided diaphragmatic defects. Posterior-lateral localization of the defect was significantly more common in patients in Group I. Posterior-medial localization was observed predominantly in patients in Group II. Partial or complete herniation of the liver and stomach into the thoracic cavity was significantly more common in patients in Group II.

**Conclusions.** In diaphragmatic defects of types A and B, the location of the CDH is significantly more often posterolateral. The size of the diaphragmatic defect did not influence the side of the CDH, nor the anatomical features of its posterior muscular rim. In large and total diaphragmatic defects, herniation of the stomach and liver into the thoracic cavity occurs significantly more frequently. Studying the anatomical features of diaphragmatic defects of various types and sizes in CDH is of great importance for optimizing the surgical treatment of this critical developmental defect.

The study was conducted in accordance with the principles of the Helsinki Declaration. The study protocol was approved by the local ethics committee of the aforementioned institution. Informed consent was obtained from patients for the study.

The authors declare no conflict of interest.

**Keywords:** congenital diaphragmatic hernia, congenital diaphragmatic defect, its anatomical features, prognosis, fetus, newborn baby.

## Вступ

Природжена діафрагмальна грижа (ПДГ) є складною мультифакторною вадою розвитку, що характеризується наявністю в плода дефекту діафрагми з герніацією органів черевної порожнини в грудну клітку, що обумовлює подальшу компресійну гіпоплазію легень, легеневу гіпертензію, а в окремих випадках – гіпоплазію лівих відділів серця. В основі розвитку цих змін лежить дефект діафрагми, анатомія якого може суттєво варіювати.

Анатомічні характеристики дефекту діафрагми, зокрема, його локалізація, розміри, наявність заднього валика діафрагми, характер грижового вмісту, можуть мати суттєве значення для клінічного перебігу захворювання, прогнозу виживаності та вибору тактики хірургічного лікування [3,11,13]. Дефекти великих розмірів зазвичай асоціюються з більш виразною легеневою гіпоплазією і легеневою гіпертензією [5].

Сучасні дослідження свідчать, що морфологічне оцінювання дефекту, зокрема, за класифікацією CDH Study Group, дає змогу не лише стандартизува-

ти підхід до лікування, але й прогнозувати результати інтенсивної терапії новонароджених із ПДГ [1]. Проте в літературі існує обмежена кількість робіт, присвячених детальному анатомічному аналізу різних за розмірами дефектів діафрагми при ПДГ у плодів і новонароджених дітей. У зв'язку з цим вивчення анатомічних особливостей дефектів діафрагми різних типів і розмірів при ПДГ має важливе значення для вдосконалення хірургічних стратегій та оптимізації лікування цих пацієнтів.

**Мета** дослідження – проаналізувати анатомічні особливості різних за величиною дефектів діафрагми при ПДГ у новонароджених дітей як важливого чинника розроблення подальшої хірургічної тактики.

## Матеріали і методи дослідження

Проведено ретроспективне вивчення анатомічних особливостей різних за розмірами дефектів діафрагми в 58 новонароджених дітей із ПДГ, які були на лікуванні в ДУ «Інститут педіатрії, акушерства і гінекології імені акад. О.М. Лук'янової НАМН України» (нині – ДУ «Всеукраїнський центр мате-

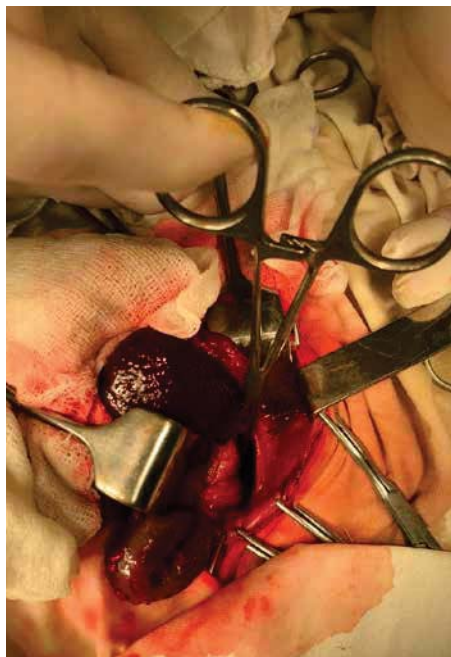


**Рис. 1.** Дефект діафрагми типу В (згідно з класифікацією CDHSG) у новонародженої дитини з природженою діафрагмальною грижею



**Рис. 2.** Дефект діафрагми типу С (згідно з класифікацією CDHSG) у новонародженої дитини з природженою діафрагмальною грижею

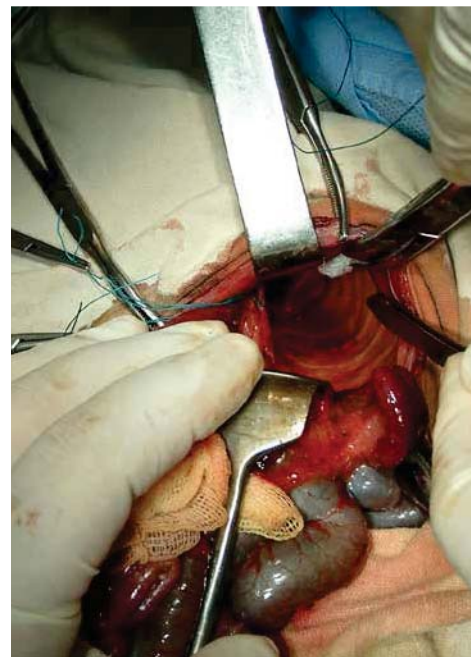


**Рис. 3.** Дефект діафрагми типу D – аплазія діафрагми (згідно з класифікацією CDHSG) у новонародженої дитини з природженою діафрагмальною грижею

ринства та дитинства НАМН України», далі – Центр), за період 2013–2025 рр. Хлопчиків було 35 (60,3%), дівчаток – 23 (39,7%). Гестаційний вік новонароджених становив від 32 тижнів до 40 тижнів (у середньому –  $38,1 \pm 1,6$  тижня). Недоношених було 22,4% ( $n=13$ ). Маса тіла немовлят варіювала в межах від 1820 г до 4190 г, у середньому –  $3070,71 \pm 533,85$  г. Гіпотрофію виявили в 31% ( $n=18$ ) новонароджених дітей. Шляхом кесаревого розтину народилися 93,1% ( $n=54$ ) пацієнтів, а 6,9% ( $n=4$ ) – природним шляхом, виключно за межами Центру. В умовах акушерської клініки Центру народилися 54 (93,1%) дитини, інші 4 (6,9%) – у пологових будинках різних областей України. Оцінка за шкалою Апгар на 1-й хвилині становила від 1 до 8 балів (у середньому –  $4,62 \pm 1,48$  бала) і на 5-й хвилині – від 2 до 9 балів (у середньому –  $5,24 \pm 1,36$  бала).

Залежно від величини дефекту діафрагми, згідно із CDHSG (рис. 1–3), новонароджених із ПДГ поділено на дві групи: до I групи залучено 38 (65,5%) дітей із малими і середніми за розмірами дефектами діафрагми (типи А і В), до II групи – 20 (34,5%) пацієнтів із великими і тотальними дефектами діафрагми (типи С і D).

Пренатальну діагностику проведено в 100% ( $n=58$ ) плодів, які народилися з ПДГ, у тому числі у відділенні медицини плода Центру – у 93,1% ( $n=54$ ) і за місцем проживання вагітної жінки – у 6,9% ( $n=4$ ). При цьому за межами Центру правильний

діагноз встановлено лише в 1,7% ( $n=1$ ) плодів, відповідно у 5,2% ( $n=3$ ) випадків ПДГ не діагностовано.

Усіх новонароджених обстежено на предмет визначення типу дефекту діафрагми (А, В, С, D) шляхом інтраопераційного вимірювання площі дефекту діафрагми, окружності грудної клітки новонародженої дитини та їх відсоткового відношення, згідно з класифікацією CDHSG [6].

Інтраопераційно досліджено такі параметри: бік дефекту діафрагми, наявність гризового мішка, локалізацію дефекту (задньо-латеральний, задньо-медіальний, інші локалізації), виразність заднього валика діафрагми (його наявність, відсутність або часткова присутність при ревізії і виділенні), характер гризового вмісту. Враховано наявність у гризовому мішку таких органів: петель тонкої і товстої кишок, шлунка, селезінки, підшлункової залози (частково або повністю), лівої/правої нирки, печінки (частково або повністю), великого сальника, жовчного міхура.

Особливу увагу приділено наявності заднього валика дефекту діафрагми як орієнтира для визначення меж дефекту та вибору тактики пластики діафрагми.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол дослідження ухвалено локальним етичним комітетом установи. На проведення досліджень отримано інформовану згоду батьків дітей.

## Original articles. Neonatal surgery

**Таблиця 1**

Анатомічні особливості різних за розмірами дефектів діафрагми при природженій діафрагмальній грижі в новонароджених дітей

| Досліджувані анатомічні особливості                                                                             | I група (n=38) | II група (n=20) | p     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------|-------|
| Площа дефекту діафрагми (см <sup>2</sup> ), M±σ                                                                 | 10,82±2,87     | 24,2±4,52       | <0,01 |
| Наявність грижового мішка, %                                                                                    | 13,15          | 35,0            | 0,069 |
| Локалізація, %:                                                                                                 |                |                 |       |
| задньо-латеральний                                                                                              | 78,9           | 55,0            | 0,032 |
| задньо-медіальний                                                                                               | 10,5           | 30,0            | 0,089 |
| інша                                                                                                            | 10,6           | 15,0            | 0,655 |
| Бік дефекту, %:                                                                                                 |                |                 |       |
| лівобічний                                                                                                      | 94,7           | 85,0            | 0,28  |
| правобічний                                                                                                     | 5,3            | 15,0            | 0,6   |
| Задній валик дефекту діафрагми відсутній повністю, але під час ревізії і виділення повністю присутній, %        | 2,6            | 5,0             | 0,638 |
| Задній валик дефекту діафрагми частково присутній, під час ревізії і виділення – повністю присутній, %          | 21,0           | 35,0            | 0,263 |
| Задній валик дефекту діафрагми повністю відсутній. Під час ревізії – відсутній (плевро-перитонеальний канал), % | 23,7           | 35,0            | 0,359 |
| Задній валик дефекту діафрагми відсутній, проте під час ревізії і виділення присутній частково, %               | 28,9           | 20,0            | 0,461 |
| Задній валик дефекту діафрагми присутній частково, під час ревізії – теж частково, %                            | 21,05          | 5,0             | 0,082 |

Розрахункову і статистичну обробку результатів дослідження виконано за допомогою пакетів прикладних програм «Microsoft Office Excel 365» і «STATISTICA 10» на персональному комп'ютері. Статистичну значущість різниці між порівнюваними групами оцінено за U-критерієм Манна-Вітні (Mann-Whitney U-test). Значення  $p < 0,05$  прийнято достовірними. Для аналізу отриманих результатів досліджень використано такі статистичні показники: середня арифметична (M), для обчислення середнього рівня варіюючої ознаки; середньоквадратичне відхилення (σ), для оцінювання найімовірнішого відхилення ознаки від її середнього значення.

### Результати дослідження та їх обговорення

У пацієнтів I групи дефектів діафрагми типу А не виявлено. В усіх випадках у цій групі констатовано тип В – 100% (n=38). У новонароджених II групи дефект типу С виявлено у 85,0% (n=17), а типу D – у 15,0% (n=3).

У таблиці 1 наведено анатомічні особливості різних за розмірами дефектів діафрагми при ПДГ у новонароджених дітей.

За даними таблиці 1, у групі новонароджених дітей I групи середня площа дефекту становила  $10,82 \pm 2,87$  см<sup>2</sup>, тоді як у II групі –  $24,21 \pm 4,52$  см<sup>2</sup>. Різниця між цими групами була статистично достовірною ( $p < 0,01$ ).

Грижовий мішок виявлявся у 13,15% (n=5) випадків I групи і у 35,0% (n=7) II групи, різниця статистично незначуща ( $p = 0,069$ ).

Лівобічні дефекти діафрагми траплялися у 94,7% (n=36) пацієнтів I групи і у 85,0% (n=17) II групи ( $p = 0,28$ ), що свідчить про відсутність статистично достовірної різниці між групами. Правобічних дефектів діафрагми в I групі було 5,3% (n=2) випадків, у II групі – 15,0% (n=3) ( $p = 0,6$ ), що також засвідчило відсутність статистично достовірної різниці.

Локалізація дефекту значно частіше була задньо-латеральною в I групі – 78,9% (n=30) порівняно з II групою – 55,0% (n=11), що є статистично достовірним ( $p = 0,032$ ). Задньо-медіальне розташування спостерігалось переважно в пацієнтів із великими дефектами діафрагми – 30,0% (n=6) проти 10,5% (n=4) у I групі;  $p = 0,089$ .

Наявність і виразність заднього валика дефекту діафрагми:

- повністю відсутній, але під час ревізії виявлений: у 2,6% (n=1) пацієнтів I групи, у 5,0% (n=1) – II групи ( $p = 0,638$ );
- частково присутній, але під час ревізії повністю виявлений: у 21,0% (n=8) пацієнтів I групи, у 35,0% (n=7) – II групи ( $p = 0,263$ );
- інтраопераційно повністю відсутній, під час ревізії теж: у 23,7% (n=9) пацієнтів I групи, у 35,0% (n=7) – II групи ( $p = 0,359$ );

Таблиця 2

Характеристика грижового вмісту різних за розмірами дефектів діафрагми при природженій діафрагмальній грижі в новонароджених дітей

| Анатомічна група | Грижовий вміст, %           |        |           |                                            |                                    |             |                 |                                 |               |
|------------------|-----------------------------|--------|-----------|--------------------------------------------|------------------------------------|-------------|-----------------|---------------------------------|---------------|
|                  | петлі тонкої, товстої кишок | шлунок | селезінка | підшлункова залоза (частково або повністю) | ліва нирка (частково або повністю) | права нирка | великий сальник | печінка (частково або повністю) | жовчний міхур |
| I                | 94,7                        | 39,5   | 73,68     | 36,8                                       | 26,3                               | 2,6         | 10,53           | 10,5                            | 2,6           |
| II               | 90,0                        | 65,0   | 80,95     | 30,0                                       | 35,0                               | 5,0         | 0               | 65,0                            | 0             |
| p                | 0,39                        | 0,02   | 0,48      | 0,56                                       | 0,38                               | 0,55        | 0,08            | 0,00002                         | 0,32          |

• частково присутній, як інтраопераційно, так і під час ревізії: у I групі – 21,05% (n=8) пацієнтів, у II групі – 5,0% (n=1) (p=0,082).

У таблиці 2 наведено характеристику грижового вмісту різних за розмірами дефектів діафрагми при ПДГ у новонароджених дітей.

За даними таблиці 2, часткова або повна герніація печінки в грудну порожнину спостерігалася в 65,0% (n=13) пацієнтів II групи, тоді як у I групі – лише в 10,5% (n=4) випадків; p<0,05. Це засвідчило виразну асоціацію великих дефектів із печінковим зміщенням у грудну порожнину. Герніація шлунка також достовірно частіше відзначалася в пацієнтів II групи (65,0%; n=13) порівняно з I групою (39,5%; n=15); p<0,05. Інші органи (петлі кишечника, селезінка, права і ліва нирки, підшлункова залоза) не показали статистично значущих відмінностей між групами; p>0,05.

Отже, дефекти діафрагми великих розмірів і аплазія діафрагми асоціюються з більшою ймовірністю міграції в грижовий мішок печінки і шлунка, що має важливе прогностичне і хірургічне значення.

Отримані результати доповнюють наявні літературні дані щодо морфологічних і клінічно значущих особливостей ПДГ залежно від розміру дефекту.

За отриманими даними, площа дефекту діафрагми в групі новонароджених із великими і тотальними дефектами діафрагми (тип C і D) була достовірно більшою ( $24,21 \pm 4,52 \text{ см}^2$ ), ніж у пацієнтів із малими і середніми дефектами ( $10,82 \pm 2,87 \text{ см}^2$ ), що узгоджується з результатами попередніх досліджень [6,8,10].

Клінічно значущою є виявлена відмінність у локалізації дефекту: хоча кількість задньо-латеральних дефектів діафрагми переважала в обох групах, вона траплялася достовірно рідше в пацієнтів із великими дефектами (55,0% проти 78,9%; p<0,05), що свідчить про більшу анатомічну варіабельність при значних дефектах діафрагми. Ця закономірність може бути пов'язана з особливостями ембріогенезу плевроперитонеального каналу, порушення якого

на ранніх стадіях розвитку призводить до формування більших і анатомічно атипичних дефектів.

Структура заднього валика дефекту, як одного з ключових хірургічних орієнтирів, показала високу морфологічну варіабельність. У групі з великими дефектами частіше спостерігалася повна його відсутність (35,0% проти 23,7%), хоча ця різниця не досягла статистичної значущості. Ці особливості потенційно можуть ускладнювати інтраопераційну ситуацію і потребувати зміни стандартної хірургічної тактики.

Щодо грижового вмісту, то найвиразнішою відмінністю була достовірно вища частота наявності печінки в складі грижового мішка в II групі відносно I групи (65,0% проти 10,5%); p<0,05. Цей факт має істотне прогностичне значення, оскільки присутність печінки в грижовому мішку традиційно розглядається як несприятливий прогностичний маркер, що асоціюється з більш виразною гіпоплазією легень і гіршими показниками виживання [2,4,9].

Статистично значущим також виявилось більш часте виявлення шлунка в складі грижового вмісту в II групі відносно I групи (65,0% проти 39,5%; p<0,05). Це свідчить, що анатомічні особливості, виявлені в пацієнтів із великими і тотальними дефектами діафрагми, підтверджують механізм, згідно з яким, збільшення розміру дефекту обумовлює герніацію більшого об'єму органів черевної порожнини в грудну клітку, що веде до більшої механічної компресії легень і сприяє формуванню більш тяжкої гіпоплазії. Окрім того, зростає ймовірність компресії серця, що, як показано в публікаціях [7,12], може впливати на формування гіпоплазії лівих відділів серця.

Інші елементи грижового вмісту, такі як петлі тонкої і товстої кишок, підшлункова залоза, селезінка, ліва і права нирки, великий сальник, жовчний міхур, мали менш виразні, статистично недостовірні відмінності між групами.

## Original articles. Neonatal surgery

Отже, результати наведеного дослідження підтверджують важливість ролі розміру дефекту діафрагми при ПДГ для стратифікації ризиків, формування індивідуалізованої хірургічної стратегії та прогнозування перебігу захворювання в новонароджених дітей.

### Висновки

При малих і середніх дефектах діафрагми локалізація ПДГ достовірно частіше буває в задньо-латеральному відділі діафрагми, на відміну від великих і тотальних її дефектів.

Розмір дефекту діафрагми не впливає на бік ПДГ, а також на анатомічні особливості його заднього м'язового валика.

При великих і тотальних дефектах діафрагми статистично достовірно частіше відбувається герніація шлунка й печінки в грудну клітку щодо малих і середніх дефектів діафрагми.

Вивчення анатомічних особливостей дефектів діафрагми різних типів і розмірів при ПДГ має важливе значення для оптимізації хірургічного лікування цієї критичної вади розвитку.

*Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.*

### References/Література

1. Chatterjee D, Ing RJ, Gien J. (2020, Sep). Update on Congenital Diaphragmatic Hernia. *Anesth Analg.* 131(3): 808-821. doi: 10.1213/ANE.0000000000004324. PMID: 31335403.
2. Cordier AG, Russo FM, Deprest J, Benachi A. (2020, Feb). Prenatal diagnosis, imaging, and prognosis in Congenital Diaphragmatic Hernia. *Semin Perinatol.* 44(1): 51163. Epub 2019 Jul 30. doi: 10.1053/j.sempedi.2019.07.002. PMID: 31439324.
3. Deprest J, Nicolaides K, Benachi A et al. (2019). Total fetoscopic endoluminal tracheal occlusion (FETO) for severe congenital diaphragmatic hernia: evolution of a technique and preliminary results. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 53(5): 611-620. doi: 10.1002/uog.20120.
4. Didier RA, Oliver ER, Rungsiyakarn P, Debari SE, Adams SE, Hedrick HL et al. (2021, Nov). Decreased neonatal morbidity in 'stomach-down' left congenital diaphragmatic hernia: implications of prenatal ultrasound diagnosis for counseling and postnatal management. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 58(5): 744-749. doi: 10.1002/uog.23630. PMID: 33724570.
5. Dingeldein M, Fiegel H, Schaible T et al. (2019). Impact of defect size on outcome of congenital diaphragmatic hernia repair: results from the CDH Euro Consortium. *Pediatr Surg Int.* 35(5): 561-567. doi: 10.1007/s00383-019-04443-5.
6. Dumpa V, Chandrasekharan P. (2023, Aug 8). Congenital Diaphragmatic Hernia.. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556076/>.
7. Fraga MV, Hedrick HL, Rintoul NE, Wang Y, Ash D, Flohr SJ et al. (2024, Aug). Congenital Diaphragmatic Hernia Patients with Left Heart Hypoplasia and Left Ventricular Dysfunction Have Highest Odds of Mortality. *J Pediatr.* 271: 114061. Epub 2024 Apr 16. doi: 10.1016/j.jpeds.2024.114061. PMID: 38636784; PMCID: PMC11239301.
8. Hattori K, Takamizawa S, Miyake Y et al. (2018). Preoperative sonographic evaluation of the defect size and the diaphragm rim in congenital diaphragmatic hernia – preliminary experience. *Pediatr Radiol.* 48: 1550-1555. <https://doi.org/10.1007/s00247-018-4184-y>.
9. Kitano Y, Nakagawa S, Kuroda T, Honna T, Itoh Y, Nakamura T et al. (2005, Dec). Liver position in fetal congenital diaphragmatic hernia retains a prognostic value in the era of lung-protective strategy. *J Pediatr Surg.* 40(12): 1827-1832. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2005.08.020. PMID: 16338299.
10. Otaño JC, Murua V, Rugilo J, Reusmann A, Ruhrnschopf CG et al. (2024, Jul). Congenital diaphragmatic hernia: relationship between defect size and outcome. Experience in a reference centre. *An Pediatr (Engl Ed).* 101(1): 29-35. Epub 2024 Jul 8. doi: 10.1016/j.anpede.2024.04.020. PMID: 38971707.
11. Tsao K, Lally KP. (2017). The Congenital Diaphragmatic Hernia Study Group and advances in the clinical care of the patient with congenital diaphragmatic hernia. *Semin Pediatr Surg.* 26(3): 122-128. doi: 10.1053/j.sempedsurg.2017.04.005.
12. Yamoto M, Nagata K, Terui K, Hayakawa M, Okuyama H, Amari S et al. (2022, Jun 8). Long-Term Outcomes of Congenital Diaphragmatic Hernia: Report of a Multicenter Study in Japan. *Children (Basel).* 9(6): 856. doi: 10.3390/children9060856. PMID: 35740795; PMCID: PMC9222080.
13. Zani A, Chung WK, Deprest J, Harting MT, Jancelewicz T, Kuni-saki SM et al. (2022, Jun 1). Congenital diaphragmatic hernia. *Nat Rev Dis Primers.* 8(1): 37. doi: 10.1038/s41572-022-00362-w. PMID: 35650272.

### Відомості про авторів:

**Слепов Олексій Костянтинович** – д.мед.н., проф., чл.-кор. НАМН України, керівник Центру неонатальної хірургії вад розвитку та їх реабілітації ДУ «ВЦМД НАМН України». Адреса: м. Київ, вул. П. Майбороди, 8. <https://orcid.org/0000-0002-6976-1209>.

**Знак Костянтин Леонідович** – н.співроб. відділення хірургічної корекції природжених вад розвитку у дітей Центру неонатальної хірургії вад розвитку та їх реабілітації ДУ «ВЦМД НАМН України». Адреса: м. Київ, вул. П. Майбороди, 8. <https://orcid.org/0000-0002-8370-4390>.

Стаття надійшла до редакції 06.09.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.

УДК 616.411-002.9-003.4-053.2-089:004.896

А.О. Дворакевич<sup>1</sup>, О.М. Кулик<sup>2</sup>, Д.В. Шевчук<sup>1,3</sup>, О.О. Калінчук<sup>1</sup>, І.П. Міськів<sup>1</sup>,  
З.Б. Шурмакевич<sup>1</sup>

## Застосування роботичної хірургії в лікуванні кіст селезінки в дітей

<sup>1</sup>КНП «Перше територіальне медичне об'єднання м. Львова» ВП «Лікарня Святого Миколая», Україна

<sup>2</sup>ДНТ «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького», Україна

<sup>3</sup>Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 21-24. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).2124

**For citation:** Dvorakevych AO, Kulyk OM, Shevchuk DV, Kalinchuk OO, Miskiv IP, Shurmakevych ZB. (2025). Application of robotic surgery in the treatment of splenic cysts in children. Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 21-24. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).2124.

Кісти селезінки є найпоширенішими доброякісними новоутвореннями цього органа. Усе більшої популярності набувають мініінвазивні втручання при захворюваннях селезінки. Роботичні платформи дають змогу кваліфікувати пацієнтів із наведеною патологією (особливо складної локалізації та рецидивні) до роботичних оперативних втручань.

**Мета** – порівняти результати хірургічного лікування кіст селезінки (роботичного і лапароскопічного) у дітей.

**Матеріали і методи.** За 2021–2025 рр. прооперовано 29 дітей із кістами селезінки різної локалізації і різних розмірів. Пацієнтів поділено на дві групи: лапароскопічну (n=16) і роботичну (n=13). Групи порівняння рівноцінні за структурою. Вік пацієнтів становив від 4 до 17 років (у середньому –  $12,0 \pm 3,2$  року). Оперативні втручання виконано із застосуванням роботичних платформ «Da Vinci S» і «Da Vinci Si» і лапароскопічної системи фірми «Karl Storz». Загалом виконано 26 (90%) парціальних спленектомій і 3 (10%) тотальні з приводу рецидиву кіст селезінки, що займали понад 90% об'єму органа.

**Результати.** Середня тривалість оперативного втручання становила  $1,9 \pm 0,3$  год у роботичній групі та  $2,24 \pm 0,4$  год у лапароскопічній. Рівень конверсії в обох групах становив 0%. Середня тривалість госпіталізації була меншою в роботичній групі ( $4,0 \pm 1,0$  доби проти  $5,0 \pm 1,2$  доби). Рецидивів не виявлено протягом періоду спостереження, натомість 1 операцію в роботичній групі виконано при рецидиві після лапароскопічної фенестрації кісти з переходом на лапаротомію (виконано в іншій клініці).

**Висновки.** Підсумовуючи, можна відзначити оптимальність застосування робототехніки під час операцій на селезінці, особливо при кістах великого розміру і за складної анатомічної локалізації (ворота, верхньо-задня поверхня селезінки). Віддалені результати свідчать про ефективність методу як такого, що гарантує відсутність рецидиву захворювання.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. На проведення досліджень отримано інформовану згоду батьків дітей.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** кіста селезінки, діти, роботична хірургія, лапароскопія.

### Application of robotic surgery in the treatment of splenic cysts in children

A.O. Dvorakevych<sup>1</sup>, O.M. Kulyk<sup>2</sup>, D.V. Shevchuk<sup>1,3</sup>, O.O. Kalinchuk<sup>1</sup>, I.P. Miskiv<sup>1</sup>, Z.B. Shurmakevych<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CC «First Lviv Territorial Medical Union» Subdivision «St. Nicholas Hospital», Ukraine

<sup>2</sup>SNPE «Danylo Halytsky Lviv National Medical University», Ukraine

<sup>3</sup>Ivan Franko Zhytomyr State University, Ukraine

Splenic cysts are the most common benign neoplasms of this organ. Minimally invasive interventions for diseases of the spleen are becoming increasingly popular. The availability of robotic platforms allows us to qualify patients with the presented pathology for robotic surgical interventions.

**Aim** – to compare the results of surgical treatment of splenic cysts (robotic and laparoscopic) in children.

## Original articles. Robotic surgery

**Materials and methods.** From 2021 to 2025, 29 children with splenic cysts of various localization and sizes were operated. Patients were divided into two groups: laparoscopic (n=16) and robotic (n=13). The comparison groups are equivalent in structure. The age of the patients is from 4 to 17 years (average  $12.0 \pm 3.2$  years). Surgical interventions were performed using the robotic platforms «Da Vinci S» and «Da Vinci Si» and the laparoscopic system from the company Karl Storz. In total, 26 (90%) partial splenectomies and 3 (10%) total splenectomies were performed due to recurrence of splenic cysts that occupied more than 90% of the organ volume.

**Results.** The average duration of surgical intervention was  $1.9 \pm 0.3$  h in the robotic group and  $2.24 \pm 0.4$  h in the laparoscopic group. The conversion rate in both groups was 0%. The average duration of hospitalization was shorter in the robotic group ( $4.0 \pm 1.0$  days versus  $5.0 \pm 1.2$  days). No recurrences were detected during the observation period, however, 1 operation in the robotic group was performed for recurrence after laparoscopic fenestration of the cyst with transition to laparotomy (performed in another clinic).

**Conclusions.** In summary, it can be noted the optimality of using robotics in operations on the spleen, especially for cysts of large size and complex anatomical localization (hiatus, upper-posterior surface of the spleen). Long-term results indicate the effectiveness of the method as such, which guarantees the absence of disease recurrence.

The study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. Informed consent was obtained from the children's parents. The authors declare no conflict of interest.

**Keywords:** splenic cyst, children, robotic surgery, laparoscopy.

Кісти селезінки є найпоширенішими доброякісними новоутвореннями цього органа, що являють собою патологічну порожнину, заповнену рідкою субстанцією. Класифікують кісти паразитарного і непаразитарного походження. Останні, своєю чергою, поділяються на первинні, які бувають природженими і неопластичними, та вторинні, серед яких розрізняють травматичні й некротичні [1,2,4].

Проблемою лікування селезінкових кіст є ймовірність рецидиву захворювання, виникнення якого залежить від радикальності видалення утвору [7]. Доцільно вважати парціальну спленектомію оптимальним методом ліквідації кіст селезінки, що пояснюється збереженням частини неураженої тканини органа відповідно до його функцій і повним висіченням кістозної порожнини з навколишньою паренхімою. Усе більшої популярності набувають мініінвазивні втручання при захворюваннях селезінки [5]. Роботичні платформи дають змогу кваліфікувати пацієнтів із наведеною патологією до роботичних оперативних втручань [3,6].



**Рис. 1.** Положення роботичних троакарів (12 мм «оптичний» у ділянці пупка, два 8 мм «роботичних» в епігастрії та лівій здихвинній ділянці)

**Мета дослідження** – порівняти результати хірургічного лікування кіст селезінки (роботичного і лапароскопічного) у дітей.

### Матеріали і методи дослідження

Проведено ретроспективний аналіз діагностування і лікування 29 дітей віком від 4 до 17 років (у середньому –  $12 \pm 3,2$  року) із кістами селезінки різної локалізації та різних розмірів. Цим дітям виконано оперативне втручання в Першому територіальному медичному об'єднанні міста Львова (відокремлений підрозділ «Лікарня Святого Миколая» і відокремлений підрозділ «Лікарня Святого Пантелеймона»). За 2021–2025 рр. прооперовано 16 (55,2%) пацієнтів лапароскопічним методом і 13 (44,8%) – роботично.

Оперативні втручання виконано із застосуванням роботичних платформ «Da Vinci S» і «Da Vinci Si» від компанії «INTUITIVE SURGICAL» (США) і лапароскопічної системи «Karl Storz». Загалом виконано 26 (90%) парціальних спленектомій і 3 (10%) тотальні з приводу рецидиву кіст селезінки, що займали понад 90% об'єму органа.

Досліджено такі параметри: тривалість операції; рівень конверсії; тривалість госпіталізації; післяопераційні ускладнення; розміри утвору; наявність рецидиву.

Для прикладу, етапність роботичної геміспленектомії наведено на рисунках 1–4.

Також на момент виписки зі стаціонару виконано контрольне ультразвукове дослідження (УЗД) із доплерографією на предмет наявності вільної рідини в черевній порожнині та життєздатності залишеної паренхіми органа; кровотік у залишковій паренхімі був задовільним у всіх випадках, жодного явища перекуту залишкової частки селезінки не виявлено. Медикаментозну гемостатичну терапію проведено транексамовою кислотою в дозі 10 мг/кг кожні 12 годин або кожні 8 годин.

Віддалені результати оцінено за допомогою УЗД за 1 і 6 місяців, а також за 1 рік після оперативного втручання; рецидиву захворювання не виявлено, відзначено регенерацію залишкової частки селезінки.

Статистичну обробку результатів досліджень проведено з використанням стандартних програм «Microsoft Excel 7.0» і «Statistica 8.0». Вирахувано середню арифметичну величину показника ( $M \pm m$ , де  $M$  – середнє арифметичне значення,  $m$  – стандартна похибка середнього). Статистично значущими прийнято розбіжності за  $p < 0,05$ .

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол дослідження ухвалено локальним етичним комітетом зазначеної в роботі установи. На проведення дослідження отримано інформовану згоду батьків, дітей.

### Результати дослідження та їх обговорення

У більшості пацієнтів захворювання перебігало безсимптомно. Перші прояви захворювання виникали при значних розмірах кіст (збільшення розмірів живота, больовий симптом). У більшості випадків діагноз встановили випадково під час планового УЗД. Для підтвердження діагнозу застосували комп'ютерну або магнітно-резонансну томографію, а також клініко-лабораторні методи обстежень.

Враховували такі показники, як тривалість оперативного втручання, тривалість «докінгу», рівень конверсії, тривалість гемостатичної терапії в післяопераційному періоді, об'єм вільної рідини в черевній порожнині на момент виписки, тривалість перебування пацієнтів у стаціонарі, а також ергономіку для хірурга. Сформовано порівняльну таблицю (табл.).

Середня тривалість оперативного втручання була меншою в роботичній групі, однак різниця не досягала статистичної значущості ( $p = 0,07$ ).

Середня тривалість госпіталізації була меншою в роботичній групі ( $4,0 \pm 1,0$  доби проти  $5,0 \pm 1,2$  доби), проте статистично значущої різниці не виявлено ( $p = 0,08$ ).

В обох групах не було випадків конверсії, а в групі лапароскопічного втручання відзначили 2 (12,5%) післяопераційні ускладнення – постгеморагічну анемію, що потребувала гемотрансфузії.

Віддалені результати (спостереження до 12 місяців) не виявили рецидивів в обох групах, відзначили регенерацію залишкової частки селезінки. Натомість у групі роботичної хірургії провели оперативне втручання з приводу рецидиву після лапароскопічної операції з конверсією на лапаротомію фенестрацію кісти середнього полюсу селезінки (виконано в іншій клініці).

Для оцінювання відмінностей між групами застосували t-критерій Стюдента для незалежних

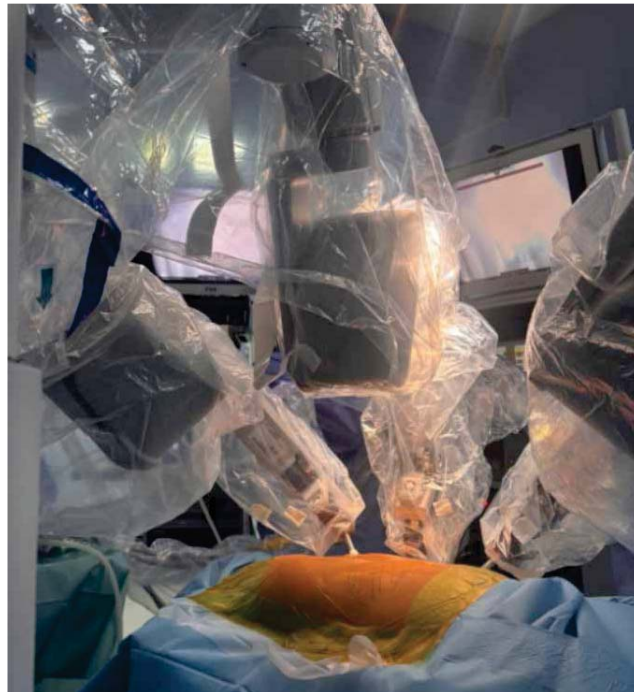


Рис. 2. Вигляд робочої поверхні після проведення «докінгу»



Рис. 3. Роботична мобілізація судинної ніжки – сепарація сегментарних судин селезінки

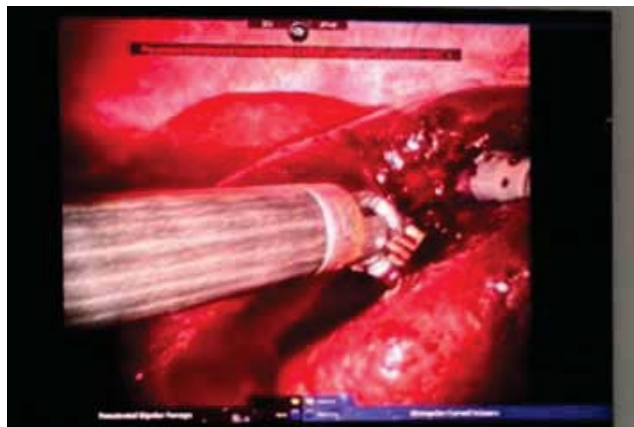


Рис. 4. Парціальна резекція частки селезінки з кістою

## Original articles. Robotic surgery

### Таблиця

Порівняльна характеристика лапароскопічного і роботичного лікування

| Показник                                                                     | Лапароскопічне<br>не оперативне<br>втручання<br>(n=16) | Роботичне<br>оперативне<br>втручання<br>(n=13) | p      |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------|
| Тривалість операції<br>(год)                                                 | 2,24±0,4                                               | 1,9±0,3                                        | 0,07   |
| Рівень конверсії (%)                                                         | 0                                                      | 0                                              | -      |
| Медикаментозна гемостатична терапія<br>в післяопераційному<br>періоді (добі) | 1,5±0,5                                                | 1,0±0,5                                        | 0,05   |
| Середня тривалість перебування пацієнта<br>в стаціонарі (добі)               | 5,0±1,2                                                | 4,0±1,0                                        | 0,08   |
| Післяопераційні ускладнення                                                  | 2 (12,5)                                               | 0                                              | 0,005  |
| Об'єм утвору, см <sup>3</sup>                                                | 21,5±6,3                                               | 56,3±18,0                                      | ≤0,005 |
| Рецидив (%)                                                                  | 0                                                      | 0                                              | -      |

вибірок. Отримані значення  $p > 0,05$  засвідчили відсутність статистично значущих відмінностей, однак такі важливі показники, як післяопераційні ускладнення і розмір кісти та її локалізація, що є ключовим фактором для вибору способу операції, мали ознаки статистичної значущості.

За отриманими результатами, обидва підходи – лапароскопічний і роботичний – є безпечними й ефективними в лікуванні кіст селезінки в дітей.

Зменшення тривалості госпіталізації в роботичній групі може свідчити про менш виражену операційну травму і швидше відновлення пацієнтів, хоча статистично значущих відмінностей не отримано.

Отримані дані узгоджуються з результатами інших досліджень [5,7], в яких також не виявлено суттєвих відмінностей між методами за основними клінічними показниками.

### Відомості про авторів:

**Дворакевич Андрій Орестович** – к.мед.н., лікар-хірург дитячий, керівник центру хірургії, заст. мед. директора з хірургічної роботи ВП «Лікарня Святого Миколая». Адреса: м. Львів, вул. П. Орлика, 4. <https://orcid.org/0000-0003-1509-8525>.

**Кулик Олена Миколаївна** – д.мед.н., проф. каф. дитячої хірургії ДНП «ЛНМУ ім. Д. Галицького». Адреса: м. Львів, вул. Пекарська, 69. <https://orcid.org/0000-0001-7639-6871>.

**Шевчук Дмитро Володимирович** – к.мед.н., доц., лікар-уролог дитячий, лікар-хірург дитячий, зав. відділення урології ВП «Лікарня Святого Миколая»; доц. каф. медико-біологічних дисциплін Житомирського державного університету ім. І. Франка. Адреса: м. Львів, вул. П. Орлика, 4. <https://orcid.org/0000-0002-3466-3430>.

**Калінчук Олександр Олександрович** – лікар-хірург дитячий, мед. директор ВП «Лікарня Святого Миколая». Адреса: м. Львів, вул. П. Орлика, 4. <https://orcid.org/0000-0002-1918-0035>.

**Міськів Іван Петрович** – лікар-анестезіолог, директор ВП «Лікарня Святого Миколая». Адреса: м. Львів, вул. Пилипа Орлика 4. <https://orcid.org/0000-0001-7979-6117>.

**Шурмакевич Захар Богданович** – лікар-інтерн ВП «Лікарня Святого Миколая». Адреса: м. Львів, вул. П. Орлика, 4.

Стаття надійшла до редакції 15.09.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.

### Висновки

Лапароскопічні і роботичні методи є ефективними в лікуванні кіст селезінки в дітей.

Роботична хірургія забезпечує кращі технічні можливості виконання операцій при великих розмірах кісти і у складних анатомічних локалізаціях (верхньо-задній полюс селезінки), дає меншу кількість ускладнень після оперативного втручання.

Рецидивів у наведених досліджених групах не виявлено, що підтверджує ефективність органозберігаючої тактики.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

### References/Література

- Alharbi R, Almohammadi R, Alharbi V, Alshaikhjafar F, Alharbi A. (2023, Sep). Case report of a large splenic cyst in a pediatric patient. Cureus. 2023 Sep 28; 15(9):e46113. doi: 10.7759/cureus.46113 PMID: 37900502.
- Di Lena E, Safa N, Rahman S, Kaneva P, Feldman LS. (2023, Jul 27). Watchful waiting for large primary nonparasitic splenic cysts. Can J Surg. 66(4): E390-E395. doi: 10.1503/cjs.010322. PMID: 37500107; PMCID: PMC10396346.
- Hanna S, Barua A, Haloi D. (2023, Apr-Jun). Robotic removal of epidermoid splenic cyst in an adolescent patient using a novel robotic platform: a case report. J Minim Access Surg. 19(2): 323-325. doi: 10.4103/jmas.jmas\_213\_22. PMID: 36629223.
- Krichen I, Maazoun K, Kitar M, Kamal NM, Khan U, Khalif MY et al. (2021, Jun 3). Huge Non-parasitic Mesothelial Splenic Cyst in a Child: A Case Report and Literature Review. Clin Med Insights Pediatr. 15: 11795565211021597. doi: 10.1177/11795565211021597. PMID: 34158804.
- Qingjiang C, Wang L, Chen X, Zhang Y, Zhang L, Zhu K et al. (2022, Jul 20). Laparoscopic treatment of benign splenic tumors in children. World Journal of Pediatrics and Surgery. 5(4): e000419. doi: 10.1136/wjps-2022-000419. PMID: 36474737.
- Stasyshyn AR, Huraievskiy AA, Dvorakevych AO, Shevchuk DV, Kalinchuk OO et al. (2023). Robotic surgery in Ukraine: first experience and development prospects. Hospital surgery. Journal named after L. Ya. Kovalchuk. 1: 5-10. [Сташишин АР, Гуряевський АА, Дворакевич АО, Шевчук ДВ, Калінчук ОО та інш. (2023). Роботична хірургія в Україні: перший досвід та перспектива розвитку. Шпитальна хірургія. Журн. ім. Л. Я. Ковальчука. 1: 5-10]. doi: 10.11603/2414-4533.2023.1.13794.
- Wang Z, Peng S, Wu D, Wang K, Xu J, Song J et al. (2022, Jul 29). Surgical treatment of benign splenic lesions in children: a series of 30 cases from a single center. BMC Surg. 22(1): 295. doi: 10.1186/s12893-022-01745-2. PMID: 35906560.

УДК 616.26-056.7-089.844-053.2

О.К. Слепов, О.А. Данилов, Є.О. Слепов

# Хірургічна корекція природженої діафрагмальної евертерації в дітей

*Центр неонатальної хірургії вад розвитку та їх реабілітації ДУ «Всеукраїнський центр материнства та дитинства НАМН України», м. Київ*

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 25-31. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).2531

**For citation:** Slieпов OK, Danilov OA, Slieпов IeO. (2025). Surgical correction of congenital diaphragmatic eventration in children. Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 25-31 doi: 10.15574/PS.2025.4(89).2531.

**Мета** – оптимізувати хірургічну корекцію природженої діафрагмальної евертерації (ПДЕ) шляхом удосконалення пластики діафрагми з використанням оригінального інструментарію.

**Матеріали і методи.** Проведено ретро- і проспективне дослідження медичних карток 29 дітей із ПДЕ протягом останніх 30 років. Для оцінювання результатів лікування застосовано клініко-рентгенологічні та статистичні методи. Визначено наявність або відсутність рецидивів, а також інтра- та післяопераційних ускладнень.

**Результати.** Під час проведення пластики діафрагми в дітей із ПДЕ застосовано: методику триплікатури («ручна») з використанням «П»-подібних і вузлових швів у 8 (42,1%) пацієнтів; триплікатури з використанням оригінальних діафрагмальних затискачів – у 5 (26,3%) дітей; дублікатури типу «сюртук» із частковою резекцією евертерованої діафрагми – у 4 (21,1%); резекцію евертерованої частини діафрагми з її пластикою «стик у стик» – у 2 (10,5%) пацієнтів.

**Висновки.** Хірургічна корекція ПДЕ є дієвим методом лікування цієї патології. Основним методом пластики діафрагми при ПДЕ є її плікація (метод дублікатури або триплікатури). У разі травматичного ушкодження евертерованої діафрагми або за наявності виразного злукового процесу між нею і прилеглими гернійованими органами чи з легенею доцільно проводити резекцію змінених ділянок евертерованої діафрагми з ушиванням її країв. Розроблена модифікація методу триплікатури з використанням оригінальних діафрагмальних затискачів дає змогу відновити фізіологічний контур діафрагми, забезпечити безпечність операції, скоротити її тривалість і спростити техніку оперативного втручання. Відкритий метод пластики діафрагми при ПДЕ з використанням торакотомії у 100% випадків попереджає розвиток рецидиву евертерації і супроводжується добрим ефектом після операції.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. На проведення досліджень отримано інформовану згоду батьків дітей.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** природжена вада розвитку, діти, природжена діафрагмальна евертерація, хірургічне лікування, пластика діафрагми, діафрагмальні затискачі.

## Surgical correction of congenital diaphragmatic eventration in children

O.K. Slieпов, O.A. Danilov, Ie.O. Slieпов

*Center for neonatal surgery for malformations and their rehabilitation of SI «Ukrainian center of maternity and childhood of the NAMS of Ukraine», Kyiv*

**Aim** – to optimize the surgical correction of congenital diaphragmatic eventration (CDE) by improving diaphragmatic plastic surgery using original instrumentation.

**Materials and methods.** A retrospective and prospective study of medical records of 29 children with CDE was conducted over the past 30 years. To evaluate the results of treatment, clinical, radiological and statistical methods were used. The presence or absence of relapses, as well as intra- and postoperative complications, were determined.

## Original articles. Thoracic surgery

**Results.** In diaphragmatic plastic surgery in children with CDE, the following methods were used: triplication («manual»), using P-like and knotted sutures in 8 (42.1%) patients; triplication using original diaphragmatic clamps – in 5 (26.3%) children; «coat» type duplication, with partial resection of the eventrated diaphragm – in 4 (21.1%); resection of the eventrated part of the diaphragm with its «joint-to-joint» plastic surgery in 2 (10.5%) patients.

**Conclusions.** Surgical correction of congenital diaphragmatic eventration is an effective method of treating this pathology. The main method of diaphragmatic plastic surgery in CDE is its plication (duplication or triplication method). In cases of traumatic injury to the eventrated diaphragm or in the presence of a pronounced connective process between it and adjacent herniated organs or with the lung, it is advisable to resect the changed areas of the eventrated diaphragm with suturing of its edges. The developed modification of the triplication method, using original diaphragmatic clamps, allows to restore the physiological contour of the diaphragm, ensure the safety of the operation, reduce its duration and simplify the technique of surgical intervention. The open method of diaphragmatic plastic surgery for CDE, using thoracotomy, in 100% of cases prevented the development of recurrent eventration and was accompanied by a good effect after surgery.

The study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. Informed consent was obtained from the children's parents.

The authors declare no conflict of interest.

**Keywords:** congenital malformation, children, congenital diaphragmatic eventration, surgical treatment, diaphragmatic plastic surgery, diaphragmatic clamps.

Природжена діафрагмальна евентерація (ПДЕ) є самостійною нозологічною одиницею, яка характеризується частковим або повним заміщенням діафрагмального м'язу фіброзною сполучною тканиною. Це обумовлює її слабкість і вип'ячування вгору. Водночас відбувається протрузія в грудну клітку вмісту черевної порожнини. Діафрагма зберігає свою цілісність і безперервність до реберної дуги, усі її прикріплення не змінені [1]. У ділянці заміщення м'язу формується тонка мобільна мембрана, яка обмежує звичну рухомість діафрагми і спричиняє появу парадоксальних рухів, що призводить до порушення вентиляції легень і зниження кровотоку, створюючи гіпоксичну вазоконстрикцію, з усіма можливими наслідками [2].

Дотепер у світовій літературі точиться дискусія щодо лікувальної тактики при ПДЕ. Більшість клініцистів вважають хірургічну корекцію єдиним дієвим методом лікування цієї патології [1,2,4,11,15,17–19]. Проте деякі дослідники схильні до того, що при деяких анатомічних і безсимптомних формах вади в дітей можна застосовувати консервативну тактику – диспансерне спостереження [7,19].

Існують різні підходи до хірургічної тактики при ПДЕ, зокрема, застосовувати відкритий спосіб операції [1,3,7,9,19] чи закритий, мініінвазивний [3,4,6,14].

У разі відкритого оперативного втручання дискутується питання стосовно того, який із хірургічних доступів більш доцільний: торакотомічний або лапаротомічний [2,8]. За умови застосування закритої методики корекції ПДЕ виникає питання щодо того, який із методів кращий: класичний торакоскопічний [2,4,14], лапароскопічний трансперитонеальний [10] або роботизований торакоскопічний [18].

Переважає більшість хірургів під час проведення корекції ПДЕ застосовує плікацію діафрагми [1–

3,7,10,14,19] і дуже рідко синтетичну заплату [9]. Способи плікації діафрагми різноманітні [3,4,10,12,14,19], але деякі з них можуть супроводжуватись інтраопераційними ускладненнями, рецидивами вади або бути клінічно неефективними [1–4,12]. Пошук оптимальної лікувальної тактики, а також методів хірургічної корекції ПДЕ триває досі.

Вищенаведені факти обумовлюють надзвичайну актуальність цього дослідження.

**Мета** дослідження – оптимізувати хірургічну корекцію ПДЕ шляхом удосконалення пластики діафрагми з використанням оригінального інструментарію.

### Матеріали і методи дослідження

Проведено ретро- і проспективне дослідження медичних карток 29 дітей із ПДЕ, яких протягом останніх 30 років обстежували і лікували в умовах ДУ «Інститут педіатрії, акушерства і гінекології імені акад. О.М. Лук'янової НАМН України» і ДУ «Всеукраїнський центр материнства та дитинства НАМН України», клініки дитячої хірургії.

У 10 дітей проводилось консервативне лікування та динамічне спостереження.

Хірургічну корекцію ПДЕ проведено у 19 дітей віком від 1,5 місяця до 14 років (у середньому – 4,1±3,7 року). Серед пацієнтів було 3 дівчаток і 16 хлопчиків, у співвідношенні 1:5,3. Лівобічна локалізація ПДЕ була у 57,9% (n=11) випадках, правобічна – у 42,1% (n=8). Переважала обмежена евентерація діафрагми (84,2%, n=16) над тотальною (15,8%, n=3).

Усіх 100% пацієнтів оперовано відкритим способом шляхом торакотомії (89,5%, n=17) або лапаротомії (10,5%, n=2).

**Таблиця**

Методи пластики діафрагми при природженій діафрагмальній евертезації

| Метод пластики                                                           | Кількість, абс. (%) |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Триплікатура («ручна») з використанням «П»-подібних і вузлових швів      | 8 (42,1)            |
| Триплікатура з використанням оригінальних діафрагмальних затискачів      | 5 (26,3)            |
| Дублікатура типу «сюртук» із частковою резекцією евертерованої діафрагми | 4 (21,1)            |
| Резекція евертерованої частини діафрагми з її пластикою «стик у стик»    | 2 (10,5)            |

Для оцінювання результатів лікування застосовано клініко-рентгенологічні та статистичні методи. Визначено наявність або відсутність рецидивів, а також інтра- та післяопераційних ускладнень.

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

### Результати дослідження та їх обговорення

У більшості випадків для хірургічної корекції ПДЕ застосовували торакотомічний доступ (89,5%, n=17): боковий (82,3%, n=14), передньо-боковий (5,9%, n=1), задньо-боковий (11,7%, n=2) в VII (58,8%, n=10), VIII (23,5%, n=4), VI (11,7%, n=2) або V (5,9%, n=1) міжреберних проміжках. Рідко використовували лапаротомію: верхню серединну (5,2%, n=1) або субкостальну (5,2%, n=1).

При пластичі діафрагми переважали плікаційні методи (89,5%, n=17) (табл.).

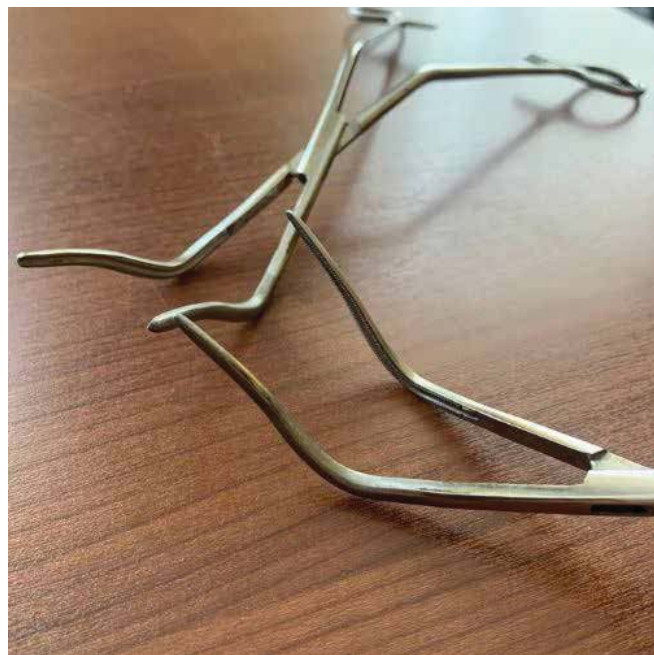
Метод «ручної» триплікатури виконували як при лівобічній, так і при правобічній локалізаціях ПДЕ. При цьому формували дублікатури з листків потоншеної евертерованої діафрагми з розрахунку отримання фізіологічних контурів і розташування купола діафрагми. Складку дублікатури біля її основи, зазвичай у межах нормальних м'язових структур, прошивали горизонтальним рядком «П»-подібних нерозсмоктувальних швів (атравматичний шовк, етібонд). Утворену складку дублікатури розпластували на діафрагмі і підшивали до неї нерозсмоктувальними вузловими атравматичними швами. При правобічній локалізації ПДЕ евертевану діафрагму перед утворенням її дублікатури з метою ревізії не розкривали через відомі анатомічні особливості. При лівобічній ПДЕ перед формуванням складки діафрагми останню на верхівці розкривали з метою ревізії для профілактики травмування прилеглих до евертеваної діафрагми гернійованих органів черевної порожнини.

Пластику діафрагми при обмеженій ПДЕ методом дублікатури типу «сюртук» виконали 4 дітям у віці від

1,5 місяця і до 6 місяців (у 3 випадках ПДЕ була правобічною, хірургічний доступ – торакотомія; в 1 немовляти віком 1,5 місяця ПДЕ була лівобічною, яку скорегували за допомогою однойменної субкостальної лапаротомії). Метод дублікатури застосовували в разі неможливості або технічних труднощів виконання триплікатури в дітей перших 6 місяців життя (n=3) або при виразному злуковому процесі між діафрагмою і легенею, а також печінкою (n=1). При цьому евертевану діафрагму розсікали на верхівці, до рівня здорових м'язових структур. Уздовж розсічених країв виконували часткову резекцію витонченої діафрагми у вигляді лінійної полоси 1–2 см шириною, переважно для її гістологічного дослідження. Край нижньої поли діафрагми підводили під верхній (до рівня наявності здорових м'язових структур) і фіксували до нього за допомогою «П»-подібних швів. Верхню полу діафрагми фіксували до нижньої вузловими швами в межах нормальних м'язів. Сформована дублікатура утворювала фізіологічні контури і висоту стояння діафрагми.

У двох дітей віком 3 і 14 років, відповідно, лівобічну і правобічну обмежені ПДЕ скорегували з торакотомічного доступу. Провели резекцію евертеваної частки діафрагми з ушиванням її дефекту «стик у стик» у межах здорових м'язових тканин вузловими і «П»-подібними швами (Етібонд 2/0).

Слід зазначити, що в дитини віком 3 роки з лівобічною ПДЕ резекцію стоншеної (евертеваної) частини діафрагми виконали у зв'язку з виразним злуковим процесом між нею і гернійованими органами (шлунком і селезінкою), а в хлопчика віком 14 років із правобічною ПДЕ резекцію виконали через травматичний розрив евертеваної частини діафрагми унаслідок спортивної травми (заняття боксом). При цьому виявили тотальне зміщення усієї печінки (через дефект діафрагми) у праву плевральну порожнину. Після висічення травмованих тканин евертеваної діафрагми і додаткового часткового розсічення інтактної діафрагми в поперечному напрямку печінку повністю занурили в черевну порожнину і розмістили в її фізіологічному положенні. Дефект діафрагми зашили «стик у стик» у вигляді літери «Т» вузловими і «П»-подібними швами в межах її здорових м'язових структур.



А



Б

**Рис. 1.** Зовнішній вигляд оригінальних діафрагмальних затискачів: А – загальний вигляд інструментів; Б – губки затискачів моделюють фізіологічні контури діафрагми



**Рис. 2.** Евентерована діафрагма повністю заповнює хірургічну рану

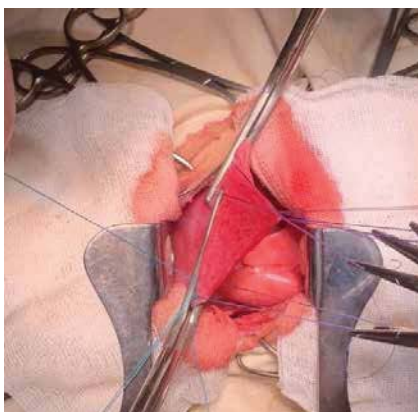


**Рис. 3.** Накладання двох діафрагмальних затискачів назустріч один одному в межах здорових тканин діафрагми

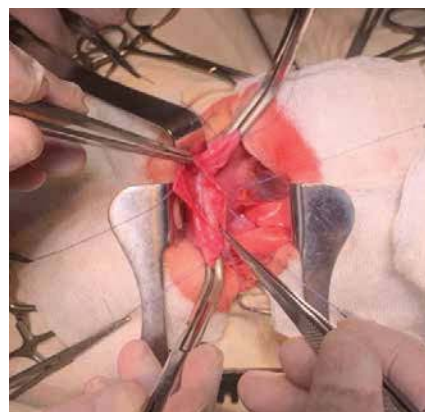


**Рис. 4.** Ревізія вмісту дублікатури діафрагми після її розтину над затискачами

Запропоновано і впроваджено модифікацію традиційного методу триплікатури з використанням спеціальних оригінальних діафрагмальних затискачів. Розроблені, виготовлені і запатентовані нами діафрагмальні затискачі не мають аналогів у світі (Патент України на винахід UA(11)86332(13)C2 [19]). Затискач складається з шарнірно з'єднаних бранш, які перетинаються; кільцевих ручок; кремальєри; замка з дозуванням перетиснення і губок із поздовжньою борозною, які розташовані під кутом 600 до бранш і сферично зігнуті в сагітальній площині, у протилежний браншам бік (рис. 1).

Запропонований спосіб триплікації діафрагми при ПДЕ виконують виключно з торакотомічного доступу

в межах VII або VIII міжреберних проміжків. При цьому визначають розміри і локалізацію евентерованої діафрагми, контури нормальної діафрагми з наявними м'язовими структурами (рис. 2). Пальпаторно визначають гернійовані органи під евентерованою ділянкою діафрагми, які хірург пальцями занурює в черевну порожнину нижче за рівень нормальної діафрагми.

У межах здорових тканин на основу утвореної дублікатури з витончених евентерованих листків діафрагми накладають два діафрагмальні затискачі назустріч один одному ввігнутістю губок до діафрагми, які моделюють її фізіологічні контури (рис. 3). Причому замок затискачів установлюють у положення мінімального перетиснення.

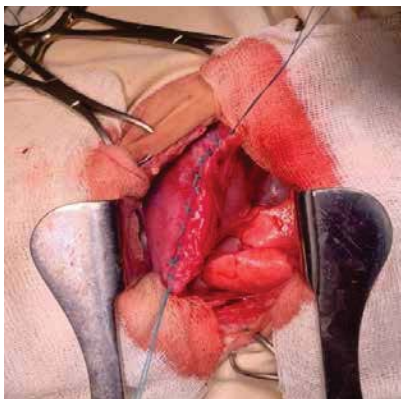


**Рис. 5.** Зовнішній вигляд сформованої дублікатури діафрагми після її прошивання над затискачами

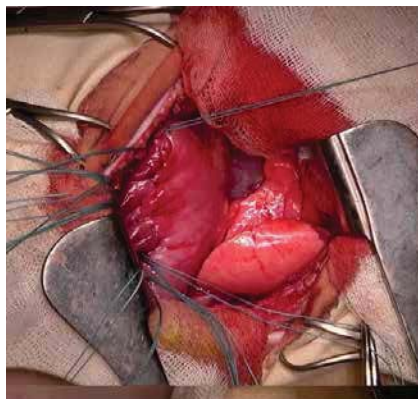


**Рис. 6.** Зовнішній вигляд сформованої триплікатури діафрагми



**Рис. 7.** Магнітно-резонансна томографія органів грудної клітки та черевної порожнини хлопчика М. віком 14 років до операції

Утворену дублікатуру евентерованої діафрагми розтинають, далі проводять ревізію її вмісту під візуальним контролем (рис. 4).

За відсутності потрапляння в бранші затискача органів черевної порожнини його замок переводять у положення середнього перетиснення. Над губками затискача накладають ряд «П»-подібних швів (рис. 5).

Утворену дублікатуру розпластують на діафрагмі і підшивають до неї вузловими швами (рис. 6).

В усіх ( $n=5$ ) дітей, оперованих за цією методикою, відновлено фізіологічну кривизну діафрагми після її пластики.

У разі застосування всіх зазначених вище методів хірургічного лікування ПДЕ не виявлено інтраопераційних ускладнень.

Післяопераційне хірургічне ускладнення констатували в 1 (5,2%) випадку, у хлопчика віком 14 років, після операції з приводу травматичного розриву евентерованої діафрагми справа і тотальної герніації усієї печінки в праву плевральну порожнину. В перші 6 годин після оперативного втручання виявили гостру кровотечу з правої плевральної порожнини (Нв ексудату – 89 г/л). У зв'язку з неефективністю консервативного гемостазу виконали за 6 годин після операції торакоскопічну ревізію і санацію правої плевральної порожнини. Виявили згустки крові в плевральних синусах та їхні нашарування на діафрагмі по лінії швів без свіжого підтікання крові. Усі згустки видалили, а плевральну порожнину промили до чистих вод. Імовірна причина кровотечі – частковий надрид діафрагми по лінії швів, без порушення її цілісності, через значне підвищення внутрішньоочеревинного тиску, у результаті занурення печінки в черевну порожнину. Ускладнення повністю ліквідували. На 3-тю добу видалили «сухий» плевральний дренаж. На 24-ту добу дитину в задовільному стані виписали з клініки. За 3 місяці після хірургічного

втручання стан хлопчика задовільний, ефект від операції добрий (рис. 7–9).

Ефект від операції в інших 18 дітей із ПДЕ теж добрий.

Розроблена модифікація методу триплікатури з використанням оригінальних діафрагмальних затискачів дає змогу відновити фізіологічний контур діафрагми, забезпечити безпечність операції, спростити техніку оперативного втручання, а також скоротити її тривалість. Так, тривалість оперативного втручання без використання оригінальних діафрагмальних затискачів становила  $154 \pm 12,5$  хв, а із застосуванням –  $125 \pm 6,75$  хв ( $p \leq 0,05$ ).

Переважає більшість клініцистів вважають хірургію єдиним дієвим методом лікування ПДЕ [1,2,17]. Ми цілком підтримуємо цю думку, за рідкісними винятками [15].

У сучасній спеціальній літературі існують різні думки і підходи щодо хірургічної тактики при ПДЕ в дітей, зокрема, застосовувати відкритий спосіб операції [1,2,7,9,19] чи закритий, мініінвазивний: класичний торакоскопічний [3,4,14], лапароскопічний трансперитонеальний [10] або роботизований торакоскопічний [18].

Ми вважаємо, за наявності відповідного обладнання, професійних знань і навичок, у хірургічному лікуванні ПДЕ можна застосовувати всі вищеперераховані методи. Проте ми як метод вибору застосовували в хірургічному лікуванні ПДЕ виключно відкритий метод (за винятком торакоскопії, в одному випадку, при ліквідації післяопераційної кровотечі). Наша аргументація на користь відкритого методу така. По-перше, не при всіх варіантах ПДЕ доцільно застосовувати закритий метод лікування, наприклад, у разі травматичного ушкодження евентерованої діафрагми (особливо справа), з повною герніацією печінки в плевральну порожнину, або за

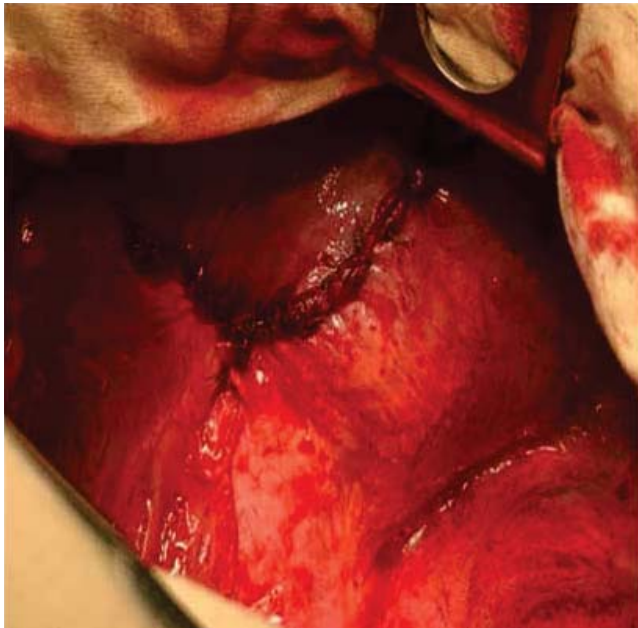


Рис. 8. Вигляд діафрагми після її пластики

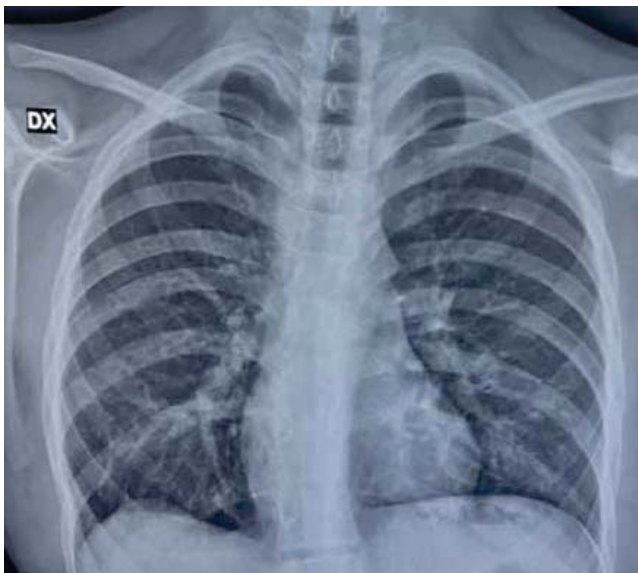


Рис. 9. Оглядова рентгенограма органів черевної порожнини хлопчика М. віком 14 років за 3 місяці після операції

наявності виразного злукового процесу між евентерованою діафрагмою і гернійованими органами черевної порожнини чи між нею і легенею. По-друге, за даними літератури, спостерігається значний відсоток рецидивів після класичної торакоскопичної пластики (від 7,7% до 25,0%) [4,14] та роботизованої торакоскопії (9,2%) [18]. Крім цього, при торакоскопії описані деякі інтраопераційні та післяопераційні ускладнення у вигляді гемотораксу, пневмотораксу, підшкірної емфіземи [12,14].

У разі проведення відкритої торакотомії, за даними деяких авторів, не виявлено рецидивів після хірургічної корекції ПДЕ [1,2]. Водночас, за даними М. Ahmad

і співавт. (2020), за 1 рік після відкритої операції в 16,7% пацієнтів відзначено клінічні симптоми ПДЕ [1].

У наведеному нами дослідженні, серед 19 оперованих дітей відкритим методом, у жодному випадку не виявлено рецидиву евентерації діафрагми.

У разі відкритих операцій більшість хірургів використовують для хірургічного доступу торакотомію в VII або VIII міжребер'ях [1,2,9]. У деяких хірургів диференційований підхід до доступу: при правобічній ПДЕ – торакотомія, при лівобічній – лапаротомія [5,19]. Ми надаємо перевагу торакотомічному доступу (89,5%) незалежно від боку ПДЕ.

Для пластики ПДЕ в більшості випадків використовують різні варіанти плікації діафрагми [2,3,18,19]. Деякі хірурги виконують резекцію слабких місць діафрагми і зшивають її краї [4,19]. Вони наголошують, що ця техніка збільшує натяг діафрагми і рівномірно його розподіляє по усій ділянці корекції.

Україн рідко для діафрагмопластики при ПДЕ застосовують синтетичну заплату [9].

При ПДЕ для пластики евентерованої діафрагми ми, в більшості випадків (89,5%), застосовували плікаційні методи (табл.), проте дійшли висновку, що в деяких випадках не можна застосовувати плікаційні методи. Зокрема, коли є травматичний розрив евентерованої діафрагми і ці ушкоджені її тканини не можуть використовуватися в пластичних цілях, або коли є виразний злуковий процес між евентерованою діафрагмою і гернійованими підлеглими органами чи легенею. У таких випадках (10,5%) робили резекцію евентерованої ділянки діафрагми з ушиванням її країв.

У разі торакотомічного доступу і виконання плікації діафрагми в хірургів виникає питання стосовного то, чи розкривати або не розкривати евентеровану діафрагму для ревізії прилеглих гернійованих органів і профілактики їхнього пошкодження під час операції. Ми вважаємо, при правобічній локалізації ПДЕ, при якій гернійована тільки печінка, розкривати діафрагму для ревізії немає потреби, натомість при лівобічній локалізації така необхідність існує.

З метою оптимізації відкритої торакотомічної плікації діафрагми нами модифіковано метод триплікатури з використанням оригінальних діафрагмальних затискачів (рис. 1) [16] (Патент України на винахід UA(11)86332(13)C2 [19]). Наявність позовної борозни на губках затискача дає змогу уникнути травмування і незворотних змін у тканинах діафрагми, у місці їхнього накладання. Форма губок затискача моделює фізіологічні контури діафрагми, тому за допомогою пластики відновлюється нормальна кривизна діафрагми. Форма бранш і кільцевих ручок дає змогу хірургові проводити всі маніпу-

ляції затискачем пальцями однієї руки. Указані конструктивні особливості цього затискача забезпечують безпечність операції, скорочують її тривалість, відновлюють фізіологічну кривизну діафрагми і спрощують техніку оперативного втручання.

## Висновки

Хірургічна корекція ПДЕ є дієвим методом лікування цієї патології.

Основним методом пластики діафрагми при ПДЕ є її плікація (метод дублікації або триплікації). У разі травматичного ушкодження евертерованої діафрагми або за наявності виразного злукового процесу між нею і прилеглими герніюваними органами чи легенею доцільно проводити резекцію змінених ділянок евертерованої діафрагми з ушиванням її країв.

Розроблена модифікація методу триплікації з використанням оригінальних діафрагмальних затискачів дає змогу відновити фізіологічний контур діафрагми, забезпечити безпечність операції, скоротити її тривалість і спростити техніку оперативного втручання.

Відкритий метод пластики діафрагми при ПДЕ з використанням торакотомії в 100% випадків попереджав розвиток рецидиву евертерації і супроводжувався добрим ефектом після операції.

*Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.*

## References/Література

- Ahmad M, Raza TA, Qadeer K et al. (2020). Eventration of diaphragm in pediatric age group 10 years' experience. *KJMS*. 13; 1: 5-8.
- Saha S, Bal HS, Sen S. (2015, May). Spontaneous rupture of a congenital diaphragmatic eventration in an infant. *BMJ Case Rep*. 14; 2015: bcr2015208634. doi: 10.1136/bcr-2014-208634. PMID: 25976306; PMCID: PMC4434382.
- Alshorbagy A, Mubarak Y. (2015). Open transthoracic plication of the diaphragm for unilateral diaphragmatic eventration in infants and children. *Korean J. Thorac. Cardiovasc. Surg*. 48: 307-310.
- Borruto FA, Ferreira CG, Kaselas C et al. (2014, Aug). Thoracoscopic treatment of congenital diaphragmatic eventration in children: lessons learned after 15 years of experience. *European J. Pediatr. Surg*. 24(4): 328-331. Epub 2013 Jun 19. doi: 10.1055/s-0033-1349054. PMID: 23784749.
- Xu PP, Chang XP, Tang ST, Li S, Cao GQ, Zhang X et al. (2020, Dec). Robot-assisted thoracoscopic plication for diaphragmatic eventration. *J Pediatr Surg*. 55(12): 2787-2790.
- Obara H, Hoshina H, Jwais et al. (1987, Jul). Eventration of the diaphragm in infants and children. *Acta. Pediatr. Scand*. 76(4): 654-658. doi: 10.1111/j.1651-2227.1987.tb10536.x. PMID: 3630683.
- Zhao S, Pan Z, Li Y et al. (2020, Nov 4). Surgical treatment of 125 cases of congenital diaphragmatic eventration in a single institution. *BMC Surg*. 20(1): 270. doi: 10.1186/s12893-020-00928-z. PMID: 33148241; PMCID: PMC7640684.
- Wu S, Zang N, Zhu J et al. (2015). Congenital diaphragmatic eventration in children: 12 years' experience with 177 cases in a single institution. *J. Pediatr. Surg*. 50(7): 1088-1092.
- Ghribi A, Bonden A, Braiki M et al. (2015). Diaphragmatic eventration in children. *Tunis Med*. 93(2): 76-78.
- Guzman-Valderrabano CR, Hernandez-Saldano Soto Ramos M. Et al. (2017). Eventracion diaphragmatica congenita en un paciente de nueve meses: presentacion de caso clinico y revision de la literatura. *Neumol Cir Torax*. 76; 1: 24-29.
- Clifton MS, Wulkan ML. (2017, Dec). Congenital diaphragmatic hernia and diaphragmatic eventration. *Clin Perinatol*. 44(4): 773-779.
- Bawazir OA, Banaja AM. (2019, Jun). Thoracoscopic repair of diaphragmatic eventration in children: a comparison of two repair techniques. *Journal of Pediatric Surgery*. 55(6): 1152-1156. Epub 2019 Dec 28. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2019.11.019. PMID: 31937447.
- Sing G, Rai RK, Pant N et al (2020, Jun). Study of thoracoscopic repair of diaphragmatic eventration in children: a case series. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*. 30(6): 692-694.
- Gupta A, Sidler M, van Poll D, Patel N, Eaton S et al. (2020, Feb). Thoracic versus abdominal approach to correct diaphragmatic eventration in children. *J Pediatr Surg*. 55(2): 245-248. Epub 2019 Nov 2. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2019.10.040. PMID: 31761454.
- Lao VV, Lao OB, Abdessalam SF. (2013, Sep). Laparoscopic transperitoneal repair of pediatric diaphragm eventration using an Endostapler Device. *J. Laparoscopic & Advanced Surgical Techniques*. 23(9):808-813. Epub 2013 Aug 12. doi: 10.1089/lap.2013.0113. PMID: 23937143; PMCID: PMC3806401.
- Parlak A, Gurpinar AN, Dogruyal H. (2020, May). Double purse – string suturing: An easy plication technique in thoracoscopic repair of diaphragmatic eventration. *J. Pediatr. Surg*. 55(5): 967-971. Epub 2019 Nov 17. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2019.10.018. PMID: 31761455.
- Sliepov OK, Danilov OA, Sliepov Ie. O. (2024). Congenital malformation – diaphragmatic eventration in children: clinic, diagnosis and treatment tactics. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 3(84): 51-57. [Слепов О.К., Данилов О.А., Слепов Є.О. (2024). Природжена вада розвитку – евертерація діафрагми в дітей: клініка, діагностика і лікувальна тактика. Хірургія дитячого віку (Україна). 3(84): 51-57]. doi: 10.15574/PS.2024.3(84).5157.
- Chandrasekaran A, Mulla AJ, Patel R et al. (2021). A rare constellation of eventration of right diaphragm, severe right lung hypoplasia and LPA sling. *Indian Journal Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 37(1): 101-104.
- Sliepov OK, Sliepov Ie. O. (2009). Zatyaskach khirurhichnyi diaphragmalnyi. Patent Ukrainy na vynakhid No. 86332, A61V17/28. Zaiavl. 15.05.2008. Opubl. 10.04.2009, Biul. No. 7. [Слепов ОК, Слепов ЄО. (2009). Затискач хірургічний діафрагмальний. Патент України на винахід №86332, A61B17/28. Заявл. 15.05.2008. Опубл. 10.04.2009, Бюл. №7].

## Відомості про авторів:

**Слепов Олексій Костянтинович** – д.мед.н., проф., чл.-кор. НАМН України, лауреат Національної премії України ім. Бориса Патона, засл. лікар України, керівник Центру неонатальної хірургії вад розвитку та їх реабілітації ДУ «ВЦМД НАМН України». Адреса: м. Київ, вул. П. Майбороди, 8; тел.: +38 (044) 483-62-28. <https://orcid.org/0000-0002-6976-1209>.

**Данилов Олександр Андрійович** – д. мед. н., проф., проф. каф. дитячої хірургії, ортопедії та травматології НУОЗ України ім. П.Л. Шупика. Адреса: м. Київ, вул. Дорогожичівка, 9. <https://orcid.org/0000-0002-4605-7032>.

**Слепов Євген Олексійович** – лікар-хірург дитячий, заочний аспірант Центру неонатальної хірургії вад розвитку та їх реабілітації ДУ «ВЦМД НАМН України». Адреса: м. Київ, вул. П. Майбороди, 8. <https://orcid.org/0000-0003-3282-6782>.

Стаття надійшла до редакції 29.08.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.

UDC 616.14-007.64:616.329]-005.1-084:[616.149:616.12-008.331.1

S.M. Kozlov<sup>1</sup>, N.V. Kosei<sup>2</sup>, N.O. Leshchynska<sup>3</sup>, N.O. Yakovenko<sup>3</sup>, Ya.S. Nazarov<sup>4</sup>, O.S. Kozlov<sup>3</sup>

## Comparative analysis of secondary prophylaxis strategies for esophageal variceal bleeding in clinically manifest portal hypertension: a 12-year single-center study

<sup>1</sup>Bohomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Center of Innovative Medical Technologies of the NAS of Ukraine, Kyiv

<sup>3</sup>Shupyk National University of Healthcare of Ukraine, Kyiv

<sup>4</sup>Kyiv Municipal Clinical Hospital No. 12, Ukraine

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 32-40. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).3240

**For citation:** Kozlov SM, Kosei NV, Leshchynska NO, Yakovenko NO, Nazarov YaS, Kozlov OS. (2025). Comparative analysis of secondary prophylaxis strategies for esophageal variceal bleeding in clinically manifest portal hypertension: a 12-year single-center study. Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 32-40. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).3240.

Recurrent variceal bleeding remains a leading cause of mortality in patients with portal hypertension (PH). Standard secondary prophylaxis strategies (SP), including non-selective  $\beta$ -blockers (NSBB) and endoscopic injection sclerotherapy (EIS), demonstrate suboptimal anti-recurrence efficacy.

**Aim** – to determine the optimal SP method for esophageal variceal bleeding (EVB) by comparing long-term outcomes of partial splenic artery embolization (PSE) versus NSBB and EIS-based strategies.

**Materials and methods.** This prospective and retrospective study included 514 patients who survived at least one EVB episode. SP efficacy was analyzed in three groups: NSBB monotherapy (n=243), EIS+NSBB (n=151), and PSE+NSBB (n=120). The efficacy evaluation criteria were survival and EVB recurrence rates within 12 months.

**Results.** During the 12-month follow-up, survival was significantly higher in the PSE group (0.87) than in the NSBB (0.73) and EIS (0.64) groups ( $p < 0.001$ ), respectively. Recurrence-free status at one year was achieved in 56.2% of PSE patients, versus 35.0% in EIS and 24.3% in NSBB. All-cause mortality was lowest after PSE (13.3%) and highest in the EIS group (37.1%).

**Conclusions.** PSE provides significantly higher SP efficacy compared to standard strategies, offering an effective minimally invasive treatment for high-risk patients with clinically significant PH.

The study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. The study approved by the Local Ethics Committee. Informed consent was obtained from all patients. The authors declare no conflict of interest.

**Keywords:** portal hypertension, esophageal varices, variceal bleeding, secondary prophylaxis, partial splenic artery embolization, endoscopic injection sclerotherapy.

### Порівняльний аналіз стратегій вторинної профілактики кровотеч із варикозно розширених вен стравоходу при клінічно маніфестній портальній гіпертензії: 12-річне одноцентрове дослідження

С.М. Козлов<sup>1</sup>, Н.В. Косей<sup>2</sup>, Н.О. Лещинська<sup>3</sup>, Н.О. Яковенко<sup>3</sup>, Я.С. Назаров<sup>4</sup>, О.С. Козлов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>ДНУ «Центр інноваційних медичних технологій НАН України», м. Київ

<sup>3</sup>Національний університет охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика, м. Київ

<sup>4</sup>КНП «Київська міська клінічна лікарня №12», Україна

Рецидивні варикозні кровотечі (ВК) залишаються однією з провідних причин смертності при портальній гіпертензії. Стандартна вторинна профілактика (ВП) – неселективні  $\beta$ -блокатори (НСББ) та ендоскопічна склеротерапія (ЕСТ) не забезпечують прийнятного протирецидивного ефекту.

**Мета** – визначити оптимальний метод ВП кровотеч із варикозно розширених вен (ВРВ) стравоходу на основі аналізу віддалених результатів парціальної емболізації селезінкової артерії (ПЕСА) порівняно з НСББ та ЕСТ.

**Матеріали і методи.** У проспективно-ретроспективному одноцентровому дослідженні взяли участь 514 пацієнтів, які перенесли щонайменше один епізод кровотечі з варикозних вен стравоходу або шлунку. Аналіз ефективності ВП проведено у трьох клінічних групах: монотерапії НСББ (n=243), ЕСТ у комбінації з НСББ (n=151) та ПЕСА у комбінації з НСББ (n=120). Критеріями оцінки ефективності слугували показники виживаності та частота повторних епізодів ВК протягом 12 місяців.

**Результати.** У період 12-місячного спостереження виживаність була достовірно вищою у групі ПЕСА (0,87) ніж у групах НСББ (0,73) та ЕСТ (0,64) відповідно. Відсутність рецидивів кровотечі протягом року зафіксовано у 56,2% пацієнтів групи ПЕСА, тоді як у групах ЕСТ та НСББ ці показники становили 35% та 24,3%. Загальна летальність була найнижчою у групі ПЕСА+НСББ (13,3%) та найвищою у групі ЕСТ+НСББ (37,1%).

**Висновки.** ПЕСА забезпечує достовірно вищу ефективність вторинної профілактики варикозних кровотеч при клінічно маніфестній портальній гіпертензії порівняно з монотерапією НСББ та ЕСТ в комбінації з НСББ.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації та схвалено локальною етичною комісією. Всі пацієнти надали інформовану згоду на участь.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** портальна гіпертензія; кровотечі з варикозно-розширених вен стравоходу; вторинна профілактика; емболізація селезінкової артерії; ендоскопічна склеротерапія.

## Introduction

Portal hypertension (PH) is the central pathophysiological driver of major complications in cirrhosis [13], most notably the development and rupture of gastroesophageal varices (GEV) [3,7]. An initial episode of esophageal variceal bleeding (EVB) marks the transition to decompensated cirrhosis and is associated with a median survival of approximately 1.5–2 years, underscoring the critical importance of effective secondary prophylaxis (SP) [2].

Before the introduction of pharmacologic and endoscopic strategies, the 1-year risk of rebleeding exceeded 60% [5]. Current approaches, including non-selective  $\beta$ -blockers (NSBB) and endoscopic therapies, have reduced this risk to approximately 30–32%, yet these rates remain unacceptably high, particularly in patients with clinically significant portal hypertension (CSPH), marked splenomegaly, and hypersplenism [11].

Early rebleeding within the first 6 weeks continues to be a leading cause of mortality [13].

Transjugular intrahepatic portosystemic shunt (TIPS) represents a potent modern modality for SP [12]. However, the procedure's high cost, technical complexity, and associated complications most notably hepatic encephalopathy limit its widespread adoption in Ukrainian clinical practice. Consequently, endoscopic techniques and pharmacological treatment remain the predominant standard of care.

In this context, the limited efficacy of standard care has prompted growing interest in minimally invasive interventional techniques aimed at modifying splanchnic hemodynamics. PSE offers a dual mechanism of benefit: it reduces excessive arterial inflow to the portal circulation and mitigates hypersplenism, a key contributor to bleeding risk in CSPH [6,9,14]. Therefore, com-

paring the efficacy of PSE against these traditional prophylactic methods is a crucial step toward optimizing treatment strategies.

**The aim** of this study was to determine the optimal SP method for EVB by comparing long-term clinical outcomes, specifically survival and rebleeding risks of PSE versus standard pharmacological treatment and endoscopic sclerotherapy.

### Materials and methods of the study

**Study Design and Patient Population.** This prospective and retrospective single-center study included 514 consecutive patients with liver fibrosis or cirrhosis who survived an index episode of EVB. Clinical history and pre-inclusion bleeding data were analyzed retrospectively, whereas post-intervention outcomes were followed prospectively. All patients were managed according to international guidelines (American Association for the Study of Liver Diseases, Baveno VII) and received standardized acute care prior to allocation to a secondary prophylaxis strategy. The treatment groups were well-matched regarding fundamental demographic parameters.

Patients were subsequently assigned to one of three treatment groups:

NSBB – 243 patients;

EIS + NSBB – 151 patients;

PSE + NSBB – 120 patients.

Basic demographic characteristics of the study population (n=514) are summarized in Table 1.

The choice of secondary prophylaxis was individualized, reflecting clinical severity, bleeding risk, hemodynamic profile, and response to initial therapy. PSE was reserved for patients with severe splenomegaly, hypersplenism, morphologic signs of splenic arterial hyperperfusion, or recurrent bleeding despite pharmacological or endoscopic management.

# Original articles. Thoracic surgery

**Table**

Baseline demographic and clinical characteristics of the study groups

| Variable                   | NSBB (n=243)    | EIS + NSBB (n=151) | PSE + NSBB (n=120) | p-value              |
|----------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| Age, years (mean $\pm$ SD) | 50.2 $\pm$ 12.9 | 51.4 $\pm$ 12.2    | 49.5 $\pm$ 10.5    | >0.05 <sup>1,2</sup> |
| Male sex, n (%)            | 154 (63.4%)     | 95 (62.9%)         | 70 (58.3%)         | >0.05 <sup>1,2</sup> |

Note: statistically significant or non-significant difference relative: 1 – to NSBB group; 2 – to EIS group.

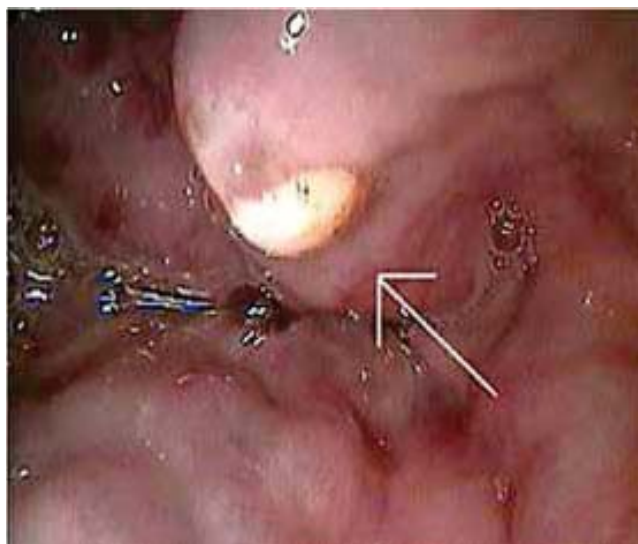


**Fig. 1.** Endoscopic appearance of an esophageal varix with a «nipple sign». A protruding fibrin plug («nipple») is seen on the surface of a large esophageal varix (arrow). This finding represents a recent bleeding point and is a well-recognized predictor of high rebleeding risk during acute variceal hemorrhage



**Fig. 2.** CT: marked splenomegaly, a nodular liver contour, a patent portal vein, and dilated looping splenic artery segments indicating hyperperfusion

Statistical analysis was performed using EZR (Saitama Medical Center, Jichi Medical University, Saitama, Japan). Continuous variables are expressed as mean  $\pm$  standard deviation (SD) and were compared using one-way analysis of variance (ANOVA). When ANOVA indicated significant differences, Bonferroni's post-hoc test was applied for pairwise comparisons. Categorical variables were analyzed using the  $\chi^2$  test or Fisher's exact test, as appropriate.

To quantify the burden of bleeding, incidence rate ratios (IRR) with 95% confidence intervals (CI) were calculated as the ratio of the total number of bleeding episodes to the number of patients in each group. Survival outcomes (overall and rebleeding-free survival) were estimated using the Kaplan–Meier method, and differences between curves were evaluated with the log-rank test. A two-tailed p-value < 0.05 was considered statistically significant.

**Pharmacological Therapy: NSBB.** Patients in the NSBB group received propranolol or nadolol according to standard titration protocols. Therapy was initiated after hemodynamic stabilization and titrated to achieve a target heart rate of 55–60 bpm or a 25% reduction from baseline, provided systolic blood pressure remained above 90 mmHg. Patients unable to reach target dosing due to hypotension or intolerance were classified as partial responders, while those requiring discontinuation were defined as non-responders. NSBB monotherapy served as the reference arm for standard pharmacological secondary prophylaxis.

**Endoscopic Injection Sclerotherapy (EIS).** EIS was performed during the index hospitalization or within 10–14 days of stabilization. During the initial endoscopic assessment, specific stigmata of recent hemorrhage, such as the «nipple sign», were evaluated as indicators of high rebleeding risk (Fig. 1). Intravariceal injections of sodium tetradecyl sulfate were administered using a standard 23 and 25-gauge sclerotherapy needle in 0.5–1.0 ml aliquots per varix. Sessions were repeated every 10–14 days until variceal obliteration or until the patient was transitioned to maintenance endoscopic therapy.

Complications of EIS were relatively uncommon but clinically relevant. In addition to minor adverse effects such as transient retrosternal discomfort, low-grade fe-

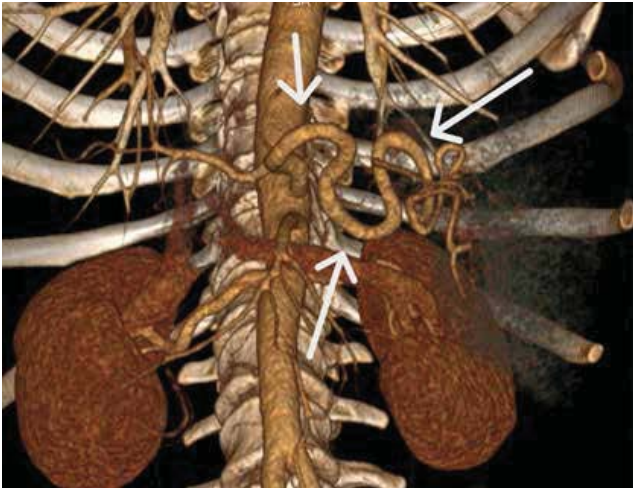


**Fig. 3.** CT: tortuosity and significant dilation of the splenic artery (white arrows)

ver, or temporary dysphagia, several potentially serious events were observed and are well documented in the literature.

One of the rare but severe complications is the migration of the sclerosant into the systemic or pulmonary circulation. Accidental intravascular injection may allow the sclerosant to enter esophageal perforating veins and subsequently reach the pulmonary arterial branches, where it can cause chemical endothelial injury, segmental vasospasm, or vascular obstruction. In isolated cases, this process may result in focal pulmonary infarction or thromboembolic phenomena, often presenting with pleuritic chest pain and localized consolidation on computed tomography (CT). Mucosal necrosis or ulceration at the injection site is uncommon but can develop when the sclerosant extravasates into submucosal or muscular layers. In more severe cases, this may lead to deep mural injury or esophageal wall necrosis, predisposing to ulceration, delayed strictures, or rarely, microperforation.

*Pre-procedural imaging and eligibility assessment for PSE.* All patients considered for PSE underwent contrast-enhanced CT as part of the standard pre-procedural evaluation. This imaging modality played a central role in confirming the presence and severity of PH, while simultaneously providing detailed anatomical information necessary for planning the intervention.

CT allowed the assessment of the splenic artery diameter and morphology, quantification of splenic volume, and verification of portal and splenic vein patency. These parameters were essential both for determining procedural feasibility and for anticipating the technical complexity of the embolization (Fig. 2, 3).

Based on CT angiography findings, patients were considered eligible for PSE if they demonstrated radiologic features consistent with significant splenic arterial hy-



**Fig. 4.** Intraprocedural angiography of the splenic artery from the same patient demonstrates dense coil packing, contrast reflux from coil clusters, and preserved distal perfusion

perfusion. The most important determinants included dilation of the splenic artery to at least 5–7 mm and marked arterial tortuosity, often manifesting as a characteristic corkscrew configuration. Eligibility further required splenic enlargement exceeding 400–500 cm<sup>3</sup>, a fully patent portal venous system, and the absence of a proximal stenosis or a celiac trunk obstruction that could compromise inflow dynamics. In addition, the arterial anatomy had to be favorable enough to permit safe and selective catheterization of the intended embolization segment.

Taken together, these imaging criteria ensured that PSE would appropriately target the inflow component of PH, reducing the splenic arterial contribution to portal pressure while preserving adequate splenic venous outflow. This comprehensive pre-procedural assessment was essential not only for procedural safety but also for ensuring a durable long-term hemodynamic response.

*Procedural technique.* PSE was performed via a transfemoral or transradial approach under fluoroscopic guidance.

After selective catheterization of the splenic artery, a 5F catheter was advanced into the target segment, followed by controlled deployment of metallic coils to reduce arterial inflow (Fig. 4).

Technical success of the procedure was confirmed intraoperatively based on several standardized angiographic criteria. First, a stable catheter position within the target arterial segment was required to ensure controlled deployment of the metallic coils. Successful embolization was characterized by dense and compact coil packing, forming a well-defined occlusion mass. A classic «reflux sign» on post-embolization angiography, with flow attenuation at the coil cluster, served as an essential indicator of adequate inflow reduction. At the same

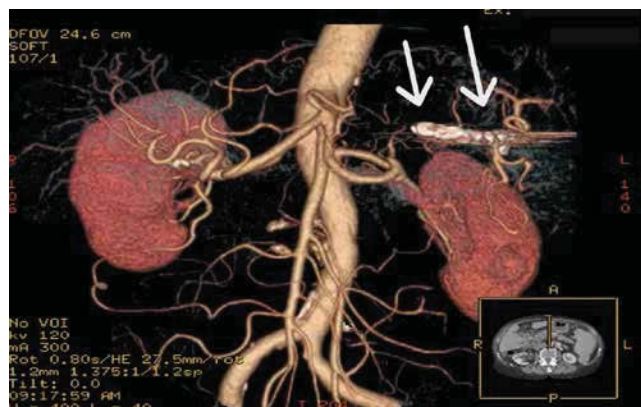


**Fig. 5.** Representative 12-month post-embolization 3D CT angiography. The image demonstrates a compact, stable cluster of metallic coils (white arrows) with markedly attenuated splenic arterial flow and no evidence of recanalization, consistent with a durable and well-maintained hemodynamic response

time, preserved perfusion of viable splenic parenchyma was mandatory to avoid excessive devascularization. The procedure was considered technically safe when performed without non-target embolization, coil migration, or arterial injury.

*Post-embolization imaging and follow-up.* The assessment of long-term effectiveness following PSE was performed using a standardized imaging protocol. All patients underwent contrast-enhanced CT at 12 months after the procedure to evaluate the durability of the embolization and confirm a persistent hemodynamic benefit.

The follow-up CT focused on several key parameters. First, a sustained reduction of splenic arterial inflow was

assessed by visualizing decreased enhancement of the previously embolized arterial segments. The stability of the metallic coil construct was verified by ensuring that the coil configuration and density remained unchanged, with no evidence of migration or mechanical displacement (Fig. 5).

Additionally, radiologists evaluated the absence of arterial recanalization or collateral reconstitution, which might indicate partial failure or the re-establishment of splenic inflow. The preservation of viable splenic parenchyma was an equally important criterion, confirming that the embolization remained selective rather than organ-ablative. The patency of the portal venous system-including the portal and splenic veins was routinely checked to exclude delayed thrombosis. Clinical endpoints such as the absence of re-bleeding and the improvement in cytopenias were assessed in parallel with imaging findings, ensuring a combined anatomical and clinical evaluation of treatment success.

The assessment and usage of all clinical data were approved and permitted before the study by the Ethics Committee of Bogomolets National Medical University. The study protocol conformed to the ethical guidelines of the «World Medical Association (WMA) Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects» adopted by the 18<sup>th</sup> WMA General Assembly, Helsinki, Finland, June 1964, and amended by the 59<sup>th</sup> WMA General Assembly, Seoul, South Korea, October 2008. Written informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

**Table 2**

Baseline clinical characteristics of the study population

| Variable                                | NSBB (n=243) | EIS + NSBB (n=151) | PSE + NSBB (n=120) | p-value              |
|-----------------------------------------|--------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| Etiology of cirrhosis, n (%):           |              |                    |                    |                      |
| - viral (HCV/HBV)                       | 112 (46.1%)  | 64 (42.4%)         | 55 (45.8%)         | >0.05 <sup>1,2</sup> |
| - alcohol-associated liver disease      | 89 (36.6%)   | 57 (37.7%)         | 41 (34.2%)         | >0.05 <sup>1,2</sup> |
| - cryptogenic                           | 42 (17.3%)   | 30 (19.9%)         | 24 (20.0%)         | >0.05 <sup>1,2</sup> |
| Child-Pugh class, n (%):                |              |                    |                    |                      |
| - A                                     | 71 (29.2%)   | 43 (28.5%)         | 44 (36.7%)         | >0.05 <sup>1,2</sup> |
| - B                                     | 158 (65%)    | 100 (66.2%)        | 67 (55.8%)         | >0.05 <sup>1,2</sup> |
| - C                                     | 14 (5.8%)    | 8 (5.3%)           | 9 (7.5%)           | >0.05 <sup>1,2</sup> |
| MELD                                    | 7.5±3.6      | 8.6±3.5            | 8.7±4.9            | <0.05 <sup>1</sup>   |
| Platelet count, ×10 <sup>9</sup> /L     | 95 ± 51      | 90.1 ± 23.4        | 82.7 ± 30.3        | <0.05 <sup>1,2</sup> |
| Hemoglobin, g/L                         | 96.5 ± 20.1  | 93 ± 17            | 83.3 ± 19.7        | <0.01 <sup>1,2</sup> |
| Splenomegaly, n (%)                     | 188 (77.4%)  | 134 (88.7%)        | 120 (100%)         | <0.01 <sup>1,2</sup> |
| Total episodes of prior bleeding, n (%) | 268          | 243                | 352                | NA                   |
| IRR                                     | 1.1          | 1.61               | 2.93               | <0.01 <sup>1,2</sup> |

Notes: statistically significant or nonsignificant difference relative: 1 – to NSBB group; 2 – to EIS group; MELD – Model for End-Stage Liver Disease; IRR – Incidence Rate Ratio.

## Results of the study and discussion

The treatment groups demonstrated a high degree of homogeneity regarding baseline demographic and clinical parameters (Tables 1, 2)

Significant heterogeneity was observed in parameters related to PH severity. The PSE group exhibited markedly different baseline profiles compared to the NSBB and EIS cohorts, specifically regarding MELD (Model for End-Stage Liver Disease) scores ( $p=0.004$ ), hemoglobin levels ( $p<0.001$ ), platelet counts ( $p=0.022$ ), and spleen size ( $p<0.001$ ). While the incidence of portal vein patency was similar across all groups, the pre-treatment bleeding burden, expressed as IRR, was notably higher in the PSE group (2.93) compared to the NSBB group (1.10).

There were no statistically significant differences across the NSBB, EIS, and PSE groups in terms of age, sex distribution, or the etiology of liver cirrhosis (viral, alcohol-associated liver disease, or metabolic), indicating a homogeneous population structure regarding the underlying liver disease ( $p>0.05$ ). Furthermore, hepatic synthetic function, as assessed by Child–Pugh classification, was comparable among the groups.

However, significant heterogeneity was observed in parameters related to PH severity. The PSE group exhibited markedly different baseline profiles compared to the NSBB and EIS cohorts, specifically regarding MELD scores ( $p=0.004$ ), hemoglobin levels ( $p<0.001$ ), platelet counts ( $p=0.022$ ), and spleen size ( $p<0.001$ ). While the incidence of portal vein patency was similar across all groups, the pre-treatment bleeding burden, expressed as IRR, was notably higher in the PSE group (IRR=2.93) compared to the NSBB group (Table 2).

During the 12-month follow-up period, the clinical trajectories of the three secondary prophylaxis groups diverged substantially, allowing a clear comparison of therapeutic effectiveness (Table 3). Although patients in the PSE cohort presented with the most severe baseline profile, including the highest burden of previous bleeding episodes, pronounced splenomegaly, and more severe hypersplenism, their subsequent clinical course was markedly more favorable.

Overall survival analysis using the Kaplan–Meier method demonstrated a pronounced advantage of PSE over EIS and NSBB. The survival curve in the PSE group declined more gradually, reflecting fewer fatal events and more effective long-term control of PH. Twelve-month overall survival rates were 0.87 for PSE, 0.73 for NSBB, and 0.64 for EIS, with statistically significant differences among the curves (log-rank  $p<0.001$ ).

This pattern was mirrored in the analysis of recurrence-free survival. Patients who underwent PSE maintained the longest interval without rebleeding, whereas

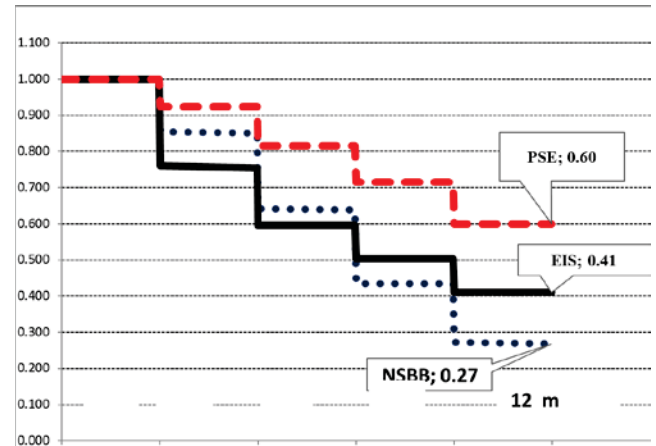


**Fig. 6.** Recurrence-free survival in the PSE, EIS, and NSBB groups over 12 months

the EIS and NSBB curves exhibited a steep early decline, indicating frequent early recurrences. The probability of remaining free from variceal rebleeding at 12 months was 0.60 in the PSE group, compared with 0.41 and 0.27 in the EIS and NSBB cohorts (Fig. 6), respectively (log-rank  $p<0.001$ ).

A particularly sensitive indicator of treatment efficacy was the IRR, which reflects the intensity of recurrent bleeding per patient. Despite the initially highest IRR in the PSE group (2.93 at baseline), this cohort achieved the deepest reduction over time, with the IRR decreasing to 0.58 in the first six months and further to 0.39 between months 6–12 – representing a more than 7.5-fold reduction. In comparison, the IRR in the EIS group decreased from 1.61 to 0.56, while NSBB therapy showed the least favorable dynamics, with an initial rise (up to 1.24) followed by a partial decline to 0.68 in the second half of the year.

Between-group comparisons confirmed the superiority of PSE, with IRRs of 1.82 versus EIS and 2.66 versus NSBB (both  $p<0.001$ ). These findings are consistent with Doppler ultrasound observations demonstrating early stabilization of splanchnic hemodynamics following embolization.

The curve demonstrates substantial differences between treatment strategies. Patients who underwent PSE maintained the highest probability of remaining free from recurrent bleeding (0.60), whereas the corresponding values in the EIS and NSBB groups were 0.41 and 0.27, respectively. The early decline observed in the EIS and NSBB curves reflects the high incidence of early rebleeding episodes, while the prolonged plateau of the PSE curve indicates a stable and durable hemodynamic effect of the intervention. Differences between the curves were statistically significant (log-rank  $p<0.001$ ).

The frequency of recurrent bleeding episodes also differed markedly across the groups. At least one re-

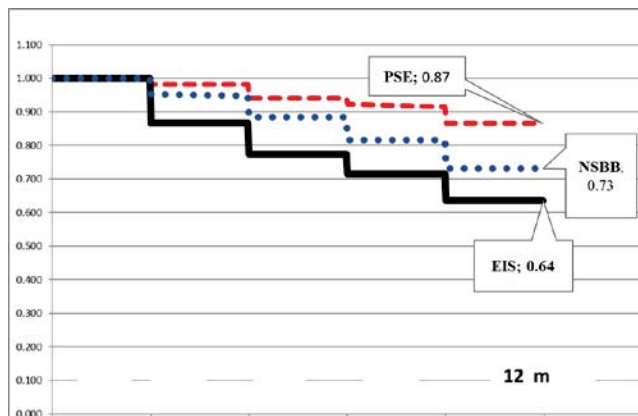


**Fig. 7.** Twelve-month overall survival in the PSE, EIS, and NSBB groups

bleeding event within 12 months occurred in 43.8% of patients in the PSE group, compared with 65% in the EIS group and 75.7% in the NSBB group. Chi-square analysis confirmed significant differences for all comparisons ( $p < 0.05$ ). Importantly, even though the PSE cohort included patients with the most advanced PH, their recurrence rates remained substantially lower than those observed with pharmacological or endoscopic therapy.

Analysis of all-cause mortality further strengthened these observations. Twelve-month mortality was lowest after PSE (13.3%), while the EIS and NSBB groups demonstrated mortality rates of 37.1% and 28.4%, respectively (Fig. 7). The EIS cohort exhibited a higher proportion of non-variceal deaths, including ulcer-related complications, strictures, and septic events, highlighting the potential iatrogenic risks associated with repeated sclerotherapy. Bleeding-related mortality was also lowest in the PSE group (9.1% versus 27.8% and 26.7% for EIS and NSBB).

The PSE cohort demonstrates the highest survival probability (0.87), with a markedly slower decline in the Kaplan-Meier curve compared with NSBB (0.73) and EIS (0.64). These findings indicate superior long-term hemodynamic stability and reduced mortality following PSE (log-rank test,  $p < 0.001$ ).

Collectively, these results demonstrate the significant therapeutic advantage of partial splenic artery embolization over both endoscopic injection sclerotherapy and non-selective  $\beta$ -blocker therapy across all clinically meaningful endpoints, including rebleeding frequency, recurrence intensity, recurrence-free survival, and overall survival. Notably, PSE provided the most favorable outcomes despite being reserved for patients with the most severe baseline disease, underscoring its capacity to achieve durable hemodynamic stabilization and long-term clinical benefit in real-world practice.

The present study provides compelling evidence that partial splenic artery embolization (PSE) offers a distinct survival and clinical advantage over standard pharmacological and endoscopic therapies. A notable finding of our investigation is the inverse relationship between baseline severity and clinical outcome: although the PSE cohort comprised patients with the most advanced PH, this group achieved superior long-term hemodynamic stability compared to those treated with NSBB or EIS. This underscores the potential of PSE to effectively interrupt the pathophysiology of variceal bleeding even in the setting of decompensated cirrhosis.

Our observations are consistent with several landmark international studies that have described the physiological and clinical benefits of PSE. The pioneering work of D.G. Spigos et al. demonstrated that partial splenic embolization can reduce portal pressure by 20–30% and significantly decrease the risk of recurrent variceal bleeding [10]. Subsequent investigations, including those by K.G. Koconis et al. and K. Zhu et al., confirmed that PSE not only decompresses the portal venous system but also effectively corrects hypersplenism through improved platelet counts and reduced splenic pooling [8,14]. In their review, K.G. Koconis et al. [8] position PSE as a key tool when standard portal pressure control fails. The correction of cytopenias plays a vital role in reducing bleeding risk, particularly in patients with advanced disease, and this mechanism likely contributed to the favorable outcomes observed in our cohort.

Importantly, our findings support the growing consensus that traditional modalities such as EIS and NSBB are limited by their lack of direct impact on PH. This limitation is well documented in the foundational works of G. Garcia-Tsao et al. and J. Bosch et al., who emphasized that effective secondary prophylaxis requires a sustained reduction of portal pressure, rather than merely a local modification of variceal channels [1,4]. Endoscopic obliteration techniques provide a short-term anatomical benefit but fail to address the underlying hemodynamic drivers of variceal formation, while NSBB therapy may be insufficient in patients with severe hyperdynamic circulation or refractory PH.

In contrast, PSE directly targets the inflow component of PH by reducing splenic arterial perfusion, subsequently decreasing portal venous inflow and improving splanchnic hemodynamics. The magnitude and stability of the IRR reduction observed in our study, particularly the more than seven-fold decrease over 12 months, reflect this physiological mechanism and align with Doppler-based assessments reported in prior literature. Regarding safety, it is important to acknowledge that

post-embolization syndrome (abdominal pain, fever) is a common adverse event following PSE; however, it is transient and medically manageable, standing in contrast to the potentially serious iatrogenic complications associated with repeated EIS.

A noteworthy finding is that despite the unfavorable baseline clinical profile of the PSE group, including the highest IRR and most advanced splenomegaly, these patients ultimately achieved the lowest recurrence rates, the lowest bleeding-related mortality, and the highest overall survival. This observation parallels the conclusions drawn by K. Zhu et al., who reported particularly high efficacy of PSE in patients with pronounced splenomegaly and recurrent bleeding [14].

Our study has certain limitations. First, it was a single-center experience, which may limit the generalizability of the findings. Second, the study design was retrospective and prospective with non-randomized group selection, introducing the potential for selection bias. However, the observed baseline disparities between the treatment groups are not attributable to this bias, but rather reflect the specific clinical indications for each intervention strategy. The PSE cohort represented a patient population with more advanced manifestations of PH, characterized by severe hypersplenism and profound thrombocytopenia. These patients were selected for interventional radiology specifically due to significant hemodynamic compromise or contraindications/failure of standard conservative therapies (NSBB/EIS). Consequently, the lower platelet counts, larger spleen sizes, and higher initial bleeding burden in the PSE group document the appropriate real-world triage of high-risk patients to a more intensive treatment modality.

Overall, the present findings reinforce contemporary international recommendations that advocate for the consideration of PSE in patients with complicated PH, particularly when standard endoscopic or pharmacological strategies fail to achieve sufficient hemodynamic control. Given its ability to modulate both portal pressure and hematologic parameters, PSE represents an effective and physiologically justified modality for secondary prophylaxis, with substantial potential to improve long-term outcomes in high-risk cirrhotic patients.

## Conclusions

Partial splenic artery embolization demonstrated superior efficacy compared with NSBB and EIS-based strategies in the secondary prophylaxis of esophageal variceal bleeding. PSE provided the most substantial reductions in rebleeding frequency and intensity, along

with the highest overall and recurrence-free survival, even in patients with the most advanced disease at baseline. These findings underscore the ability of PSE to achieve durable hemodynamic improvement and support its integration into treatment algorithms for high-risk patients with complicated PH.

*The authors have no conflicts of interest to declare.*

**Funding.** The work was performed in accordance with the plan of research work of the Department of Surgery No 3 of Bogomolets National Medical University: «Innovative algorithms for diagnosis and surgical treatment of acute complications of diseases and neoplastic lesions of the gastrointestinal tract and hepatobiliopancreatic zone». The authors did not receive additional financial support.

## References/Література

1. Bosch J, Groszmann RJ, Shah VH. (2015). Evolution in the understanding of the pathophysiological basis of portal hypertension: How changes in paradigm are leading to successful new treatments. *J Hepatol.* 62; 1 Suppl: S121-S130. doi: 10.1016/j.jhep.2015.01.003.
2. D'Amico G, Garcia-Tsao G, Pagliaro L. (2006). Natural history and prognostic indicators of survival in cirrhosis: a systematic review of 118 studies. *J Hepatol.* 44(1):217-231. doi: 10.1016/j.jhep.2005.10.013.
3. De Franchis R, Bosch J, Garcia-Tsao G, Reiberger T, Ripoll C et al. (2022). Expanding consensus in portal hypertension: Report of the Baveno VII consensus workshop: Personalizing care for portal hypertension. *J Hepatol.* 76(4): 959-974. doi: 10.1016/j.jhep.2021.12.022.
4. Garcia-Tsao G, Abraldes JG, Berzigotti A, Bosch J. (2017). Portal hypertensive bleeding in cirrhosis: Risk stratification, diagnosis, and management: 2016 practice guidance from the American Association for the Study of Liver Diseases. *Hepatology.* 65(1): 310-335. doi: 10.1002/hep.28906.
5. Graham DY, Smith JL. (1981). The course of patients after variceal hemorrhage. *Gastroenterology.* 80(4): 800-809.
6. Helaly AZ, Al-Warraky MS, El-Azab GI, Kohla MA, Abdelaal EE. (2015). Portal and splanchnic hemodynamics after partial splenic embolization in cirrhotic patients with hypersplenism. *APMIS.* 123(12): 1032-1039. doi: 10.1111/apm.12470.
7. Kaplan DE, Ripoll C, Thiele M, Fortune BE, Simonetto DA, Garcia-Tsao G et al. (2024). AASLD Practice Guidance on risk stratification and management of portal hypertension and varices in cirrhosis. *Hepatology.* 79(5): 1180-1211. doi: 10.1097/HEP.0000000000000647.
8. Koconis KG, Singh H, Soares G. (2007). Partial splenic embolization in the treatment of patients with portal hypertension: a review of the english language literature. *J Vasc Interv Radiol.* 18(4): 463-481. doi: 10.1016/j.jvir.2006.12.734.
9. Saeki M, Okubo H, Takasaki Y, Nakadera E, Fukuo Y, Fukada H et al. (2023). The Impact of Partial Splenic Embolization on Portal Hypertensive Gastropathy in Cirrhotic Patients with Portal Hypertension. *J Clin Med.* 12(7): 2662. doi: 10.3390/jcm12072662.
10. Spigos DG, Jonasson O, Mozes M, Capek V. (1979). Partial splenic embolization in the treatment of hypersplenism. *AJR Am J Roentgenol.* 132(5): 777-782. doi: 10.2214/ajr.132.5.777.
11. Villanueva C, Albillos A, Genescà J, Garcia-Pagan JC, Calleja JL, Aracil C et al. (2019). Beta blockers to prevent decompensation of cirrhosis in patients with clinically significant portal hyperten-

## Original articles. Thoracic surgery

- sion (PREDESCI): a randomised, double-blind, placebo-controlled, multicentre trial. *Lancet*. 393(10181): 1597-1608. doi: 10.1016/S0140-6736(18)31875-0.
12. Yin X, Gu L, Zhang M, Yin Q, Xiao J, Wang Y et al. (2022). Covered TIPS Procedure-Related Major Complications: Incidence, Management and Outcome From a Single Center. *Front Med (Lausanne)*. 9: 834106. doi: 10.3389/fmed.2022.834106.
13. Younossi ZM, de Avila L, Racila A, Nader F, Paik J, Henry L et al. (2025). Prevalence and predictors of cirrhosis and portal hypertension in the United States. *Hepatology*. 82(5): 1229-1240. doi: 10.1097/HEP.0000000000001243.
14. Zhu K, Meng X, Qian J, Huang M, Li Z, Guan S et al. (2009). Partial splenic embolization for hypersplenism in cirrhosis: a long-term outcome in 62 patients. *Dig Liver Dis*. 41(6): 411-416. doi: 10.1016/j.dld.2008.10.005.

### Відомості про авторів:

**Козлов Сергій Миколайович** – к.мед.н., доц. каф. хірургії №3 НМУ ім. О.О. Богомольця. Адреса: м. Київ, бульв. Т. Шевченка, 13. <https://orcid.org/0000-0002-2359-8581>.

**Косей Наталія Василівна** – д.мед.н., проф., зав. відділу репродуктивного здоров'я ДНУ «Центр інноваційних медичних технологій НАН України». Адреса: м. Київ, вул. Вознесенський узвіз, 22. <https://orcid.org/0000-0002-1035-1694>.

**Лециньська Наталія Олексіївна** – лікар-інтерн-хірург НУОЗ України ім. П.Л. Шупика. Адреса: м. Київ, вул. Дорогожицька, 9. <https://orcid.org/0000-0002-4036-9713>

**Яковенко Надія Олексіївна** – лікар-інтерн-хірург НУОЗ ім. П.Л. Шупика. Адреса: м. Київ, вул. Дорогожицька, 9. <https://orcid.org/0009-0005-8067-5060>.

**Назаров Ярослав Сергійович** – лікар-хірург КНП «Лікарня №12». Адреса: м. Київ, вул. проф. Підвисоцького, 4А. <https://orcid.org/0000-0003-4007-3338>

**Козлов Олександр Сергійович** – лікар-інтерн-хірург НУОЗ України ім. П.Л. Шупика. Адреса: м. Київ, вул. Дорогожицька, 9. <https://orcid.org/0000-0003-1034-0909>.

Стаття надійшла до редакції 13.09.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.

UDC 617.586-007.54+616.71-089.85

A.P. Liabakh<sup>1</sup>, O.A. Turchyn<sup>1</sup>, T.M. Omelchenko<sup>2</sup>

## Calcaneal lengthening osteotomy in the treatment of flexible flatfoot in children

<sup>1</sup>SI «The Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine», Kyiv

<sup>2</sup>Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine.

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 41-46. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).4146

**For citation:** Liabakh AP, Turchyn OA, Omelchenko TM. (2025). Calcaneal lengthening osteotomy in the treatment of flexible flatfoot in children. Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 41-46. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).4146.

**Aim** – to analyze the skialogical, functional, and clinical results of calcaneal lengthening osteotomy in children with flexible flatfoot (FF).

**Material and methods.** The retrospective study includes 10 patients (17 cases) with FF who underwent calcaneal lengthening osteotomy by the Evans-Mosca technique. All patients had the shortening of the m. triceps surae. The age of patients ranged from 8 to 16 years (mean  $12 \pm 0.7$  years); there were 9 boys and 1 girl. Evaluation of the results was carried out on the dynamics of vertical and horizontal talo-1st-metatarsal angles (TMA), os calcis inclination angle (CIA), AOFAS scale (hindfoot and ankle), Foot Function Index (17-I FFI, Italian version), VAS (pain) in terms of 2 to 4 years.

**Results.** The operation caused a pronounced cosmetic, radiological, and functional effect. All patients and their parents were satisfied with the result of the surgery. There is an improvement in radiological parameters on average: vertical TMA from 21,9 to 1,9°; horizontal TMA from 21,1 to 3°; CIA from 6,8 to 15,3°. The dynamics of the foot function by average: increasing by AOFAS scale from 69,3 to 95,1; improvements for FFI from 14,9 to 2%; reduction of pain by VAS from 3,8 to 0,8. Effective foot extension increased from 0,5 to 8,9°. The difference between the averages was significant ( $p < 0,001$ ).

**Conclusion.** Os calcis lengthening osteotomy is an effective operation in the treatment of symptomatic FF in children, which provides a significant reduction in pain, good clinical and radiological results. The advantages of os calcis lengthening osteotomy are simple surgical techniques and a low risk of neurovascular complications.

The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki. The protocol was approved by the Local Ethics Committee. Written informed consent was obtained from the children's legal guardians.

The authors declare no conflict of interest.

**Keywords:** children, flatfoot, os calcis, osteotomy.

### Подовжувальна остеотомія п'яткової кістки в лікуванні гнучкої плоскої стопи в дітей

А.П. Лябах<sup>1</sup>, О.А. Турчин<sup>1</sup>, Т.М. Омельченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», м. Київ

<sup>2</sup>Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

**Мета** – проаналізувати скіалогічні, функціональні та рентгенологічні результати подовжувальної остеотомії п'яткової кістки і дітей із гнучкою плоскою стопою (ПС).

**Матеріал і методи.** Ретроспективне дослідження охоплює 10 пацієнтів (17 стоп) із гнучкою ПС, яким виконали подовжувальну остеотомію п'яткової кістки за Evans-Mosca. Всі пацієнти мали укорочення м. triceps surae. Вік пацієнтів становив 8–16 років (у середньому  $12 \pm 0,7$  років); 9 хлопчиків і 1 дівчинка. Оцінку результатів проводили за динамікою вертикального та горизонтального таранно-метатарзального кутів (ТМК), кута інклинації п'яткової кістки (ІПК), шкалами AOFAS (задній відділ стопи та гомілковостопний суглоб), Foot Function Index (17-I FFI, Italian version), візуальною аналоговою шкалою в терміни від 2 до 4 років.

**Результати.** Операція мала вагомий косметичний, рентгенологічний та функціональний ефект. Усі пацієнти та їхні батьки були задоволені результатом операції. Простежено покращення рентгенологічних показників у середньому: вертикального ТМК від 21,9 до 1,9°; горизонтального ТМК від 21,1 до 3°; кута ІПК від 6,8 до 15,3°. Динаміка функції стопи в середньому: покращення за шкалою

## Original articles. Orthopedics

АOFAS від 69,3 до 95,1; покращення за FFI від 14,9 до 2%; зменшення болю за ВАШ від 3,8 до 0,8 балу. Ефективне розгинання стопи збільшилось від 0,5 до 8,9°. Різниця між середніми була суттєвою ( $p < 0,001$ ).

**Висновок.** Подовжувальна остеотомія п'яткової кістки є ефективною операцією в лікуванні симптоматичної ПС у дітей, яка значно зменшує біль, сприяє гарним клінічним та рентгенологічним результатам. Перевагами подовжувальної остеотомії п'яткової кістки є проста хірургічна техніка та низький ризик нейросудинних ускладнень.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол схвалено місцевим етичним комітетом. Отримано письмову інформовану згоду від законних представників дітей.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** діти, плоска стопа, п'яткова кістка, остеотомія.

## Introduction

Flexible flatfoot (FF) is a common pathology among children and adolescents, occurring in approximately 12.5% of all visits to orthopedists [6]. The approach to the treatment of FF in children is predominantly conservative: orthotics, adequate footwear, physiotherapy, etc. There is no evidence of the effectiveness of conservative treatment of FF in the literature, rather it produces a palliative effect. Quite a lot of people have FF, which does not limit their daily activity and does not interfere with sports [14]. The question of the need for treatment of asymptomatic FF in children remains controversial, as it is impossible to predict the age-related evolution of flatfoot. However, surgeons dealing with foot and ankle pathology are well aware that over time, even minimal deformity can cause pain symptoms.

The indication for surgical treatment is pain, dysfunction, or severe deformity that prevents the use of shoes. In 1959, D. Evans developed and began to use the os calcis osteotomy with its lengthening for the treatment of FF, but the results of this operation were published in 1975 [5]. He believed that one of the manifestations of FF is the shortening of the lateral column and, accordingly, the alignment of its length should provide correction of the abduction of the forefoot and normalize the displacement in the talonavicular joint. This assumption has been confirmed and developed hereinafter in biomechanical and clinical studies [13,14].

In children with FF, complaints of pain and dysfunction are associated with shortening of m. triceps surae. Harris R.I. and Beath T. classify this type of deformation as flexible flatfoot with short tendo Achillis [7]. According to their data, this type of flatfoot is present in 25% of people with FF. In such cases, skeletal reconstruction is combined with lengthening of the tendo Achilles [3,4,8]. Ensuring sufficient extension of the foot is required to achieve plantigrade foot. There is one study in which the range of motion in the ankle joint after calcaneal lengthening osteotomy [8].

**The aim** is to analyze the skialogical, functional, and clinical results of calcaneal lengthening osteotomy in children with FF.

## Material and methods of the study

The retrospective study includes 10 patients (17 cases) with FF who underwent inpatient treatment at the clinic of the SI «The Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine» (SI «ITO NAMS of Ukraine») in the period 2004-2023. The age of patients ranged from 8 to 16 years (mean  $12 \pm 0.7$  years); there were 9 boys and 1 girl.

**Inclusion criteria:** medial arch lowering, flexible hindfoot, forefoot abduction; the corresponding values of the vertical and horizontal talo-1<sup>st</sup>-metatarsal angles (TMA), os calcis inclination angle (CIA), reducing the effective foot extension through shortening the m. triceps surae. Differentiation of the shortening m. triceps surae and m. gastrocnemius was carried out using a test with a flexed and extended knee joint.

X-ray dynamics was assessed by loading radiographs in antero-posterior, lateral and axial projections before surgery, 4, 8 weeks after surgery, and during follow-up examination. Vertical and horizontal TMA were defined as the intersection of the long axys of the 1<sup>st</sup> metatarsal and the talus on the lateral and antero-posterior radiographs of the foot. CIA was measured on the lateral radiograph between the line tangent to the lower surface of the os calcis and the plane of support. Measurements were performed in a vector graphic program after transferring digital radiographs. The measured values were exported to Microsoft Excel for further processing.

Foot function before and after surgery was assessed on the American Orthopedic Foot and Ankle Society scale (AOFAS) [9], Foot Function Index (17-I FFI, Italian version) [12], and Visual Analog Scale (VAS, pain) in terms of 2 to 4 years.

The applied assessment scales were numerical. AOFAS scale (domain hindfoot and ankle joint) includes assessment of pain, motor activity, range of motion, adaptation to the surface, stability) – the highest score is 100 points, perfect health. 17-I FFI, Italian version, the disability index was calculated as the arithmetic mean of three domains that characterize different aspects of pain; the highest score of 170 reflects the worst condition, the obtained value was converted into a percentage. VAS was

used in the numerical version to assess the severity of pain, from the least 0 cm to the worst 10 cm.

Statistical analysis was performed using paired Student's *t*-test, which was considered significant when *p*-value was measured <0.05. For normally distributed continuous variables, the results are presented as the mean  $\pm$  standard error of the mean ( $M \pm \sigma$ ) and 95% confidence interval (95% CI).

The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the Academic Council of the SI «ITO NAMS of Ukraine», the parents of all patients gave informed consent to be included in the study.

**Operation technique.** The operation is performed in the supine position with a pillow under the operated limb. A pneumatic tourniquet was used on the thigh. The modified Ollier approach was placed over the sinus tarsi approximately 1 cm proximal to the anterior process of the os calcis, protecting the n. suralis from injury. M. extensor digitorum brevis and sinus tarsi adipose tissue were separated from the anterior process of the os calcis. The tendons of the peroneal muscles retracted plantarly. The calcaneocuboid joint was identified but not opened.

A narrow elevator was used to find the gap between the middle and anterior facets of the os calcis, dissect the periosteum along a line that starts 1.5 cm proximal to the line of the calcaneocuboid joint and continues into the specified gap. The osteotomy plane was oriented along this line, which should run in the direction from the proximal-lateral to distal-medial edge of the os calcis. After completion of the osteotomy, Steinman pins were inserted into the os calcis fragments at a right angle, on which a distractor was mounted, with which the required level of correction was set. This level of correction was controlled radio-



**Fig. 1.** Intraoperative radiograph. Alignment of relative lengths of the talus and calcaneus

logically: the edge of the os calcis anterior process should be at the same level as the edge of the head of the talus (Fig. 1). The os calcis defect at the osteotomy site was filled with an auto- or allograft of a trapezoidal shape.

It is this arrangement of the osteotomy plane that allows, during correction, to establish the center of rotation at the same level as the center of the talus head, and not at the level of the medial calcaneal cortex. To prevent overcorrection, the graft should have a trapezoidal shape and a 2:1 base-to-top ratio. During the correction and insertion of the graft, the position of the calcaneocuboid joint was monitored to prevent dorsal subluxation of the

**Table**

Preoperative and final radiographic and clinical results

| Index                             | $M \pm \sigma$ (min – max) | $p$ ( $\alpha=0.05$ )* |
|-----------------------------------|----------------------------|------------------------|
| Vertical TMA (preop., degrees)    | $21.9 \pm 1.5$ (9–37)      | <0.001                 |
| Vertical TMA (final, degrees)     | $1.9 \pm 1.2$ (0–19)       |                        |
| Horizontal TMA (preop., degrees)  | $21.1 \pm 2.6$ (10–46)     | <0.001                 |
| Horizontal TMA (final, degrees)   | $3.0 \pm 1.1$ (0–15)       |                        |
| CIA (preop., degrees)             | $6.8 \pm 0.7$ (2–12)       | <0.001                 |
| CIA (final, degrees)              | $15.3 \pm 1.8$ (0–29)      |                        |
| AOFAS (preop., points)            | $69.3 \pm 1.7$ (45–76)     | <0.001                 |
| AOFAS (final, points)             | $95.1 \pm 0.8$ (89–100)    |                        |
| FFI (preop., %)                   | $14.9 \pm 0.7$ (11.9–21.3) | <0.001                 |
| FFI (final, %)                    | $2 \pm 0.7$ (0–11.2)       |                        |
| VAS (preop., cm)                  | $3.8 \pm 0.3$ (2.5–6.0)    | <0.001                 |
| VAS (final, cm)                   | $0.8 \pm 0.2$ (0–4)        |                        |
| Ankle extension (preop., degrees) | $0.5 \pm 0.9$ ((-7)–5)     | <0.001                 |
| Ankle extension (final, degrees)  | $8.9 \pm 0.7$ (5–14)       |                        |

Note: \* – paired *t*-test.

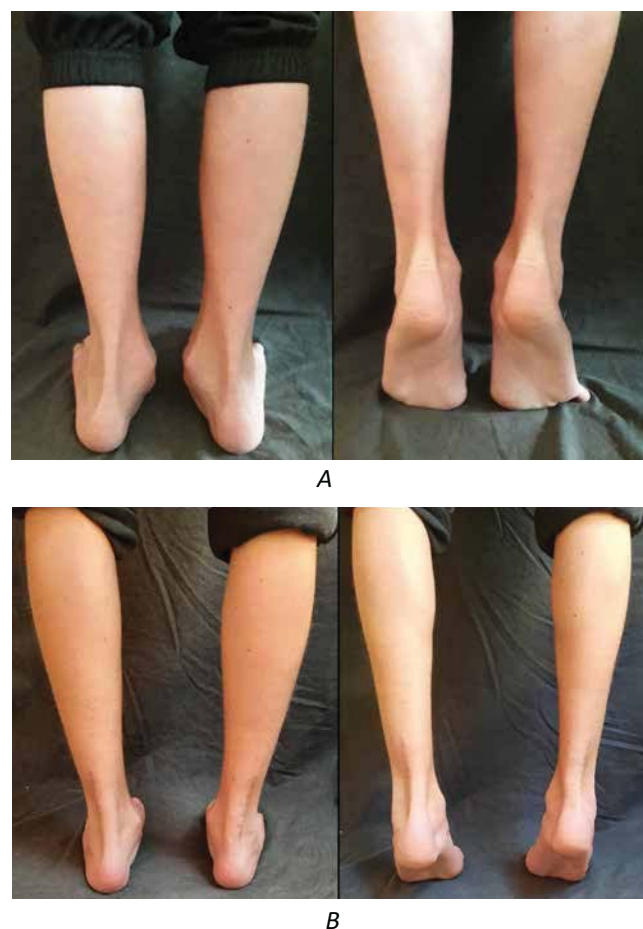


**Fig. 2.** Patient aged 10 years. Simultaneous correction of both feet. Allograft and LCP osteosynthesis are applied. The appearance and function of the feet before (A) and 1 year after (B) the lengthening of the os calcis osteotomy

distal calcaneal fragment. In the case of subluxation, the graft was removed, and a wire was passed retrogradely from the cuboid bone through the center of the distal fragment. The graft was inserted again, and it was fixed to the proximal calcaneal fragment with the inserted pin. Additional fixation was performed with a mini-plate with angular stability if needed.

Correction of the deformity aggravated the deficit of foot extension, in most cases, it was impossible to achieve a neutral position. The Achilles tendon was elongated from the posteromedial approach, and the tendon was cut in the frontal plane. The Achilles tendon was repaired with a continuous non-absorbable suture at the neutral foot position. The paratenon was repaired with absorbable sutures.

**Postoperative management.** In the absence of complications from postoperative wounds, patients were discharged from the clinic with a below-knee removable cast with weight-bearing prohibition. Patients were followed up at 4, 8 weeks, and 6-9 months postoperatively. Immobilization with a removable plaster cast lasted 4 weeks, fol-

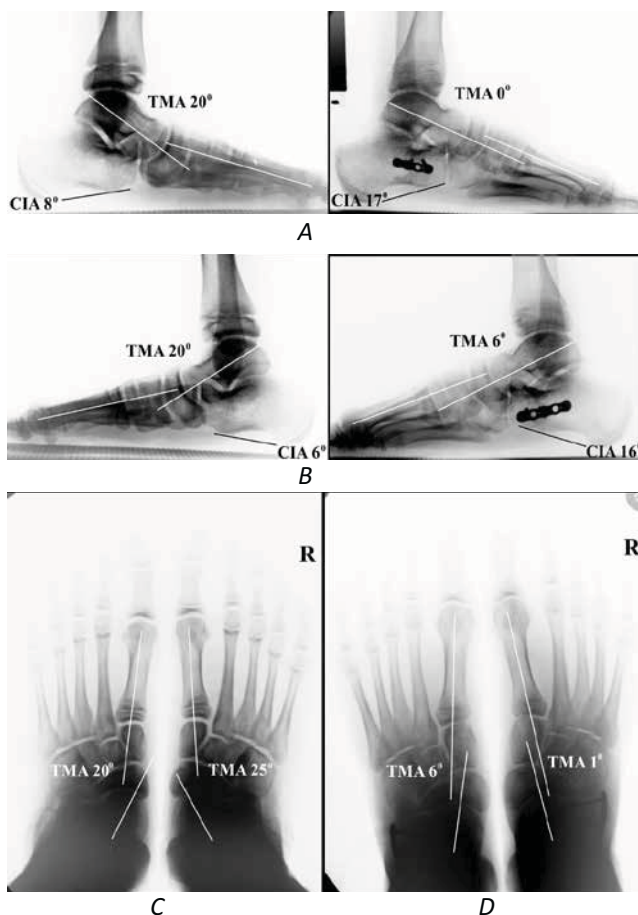


**Fig. 3.** Patient aged 10 years (same patient). Weight-bearing pre- and postoperative radiographs: A – left foot lateral, B – right foot lateral, antero-posterior preoperative (C) and postoperative (D)

lowed by radiography of the foot in two projections. Usually, in this period, there was a fusion of the os calcis with a graft. The full load was started in a modelled plaster cast with heel and continued for 4 weeks. During the next visit, a weight-bearing X-ray was performed in antero-posterior, lateral and Cobey's views to record radiographic findings. Progression of graft incorporation was also noted. The patient was allowed to load without restrictions.

### Results of the study and discussion

Healing of postoperative wounds in all cases was without complications. Full load without restrictions was possible after the second visit 8 weeks after surgery) in 15 cases, and in 2 cases – 10 weeks after surgery. There were no nonunion.

**Radiographic follow-up.** Hindfoot alignment was achieved in all cases. The table lists the vertical and horizontal TMA, CIA, which were measured before the operation and during the follow-up period.

The operation had a good cosmetic, radiographic and functional effect (Fig. 2 and 3).

Vertical TMA improved from an average preoperative value of 21.9° (from 9° to 37°) to an average value of 1.9° (from 0° to 19°) at follow-up. Horizontal TMA improved from an average preoperative value of 21.1° (from 10° to 36°) to an average value of 3° (from 0° to 15°) at follow-up.

There is an increase in the volume of effective extension of the foot, which was associated with the mandatory lengthening of the Achilles tendon. Improvements in foot function are registered by AOFAS and FFI, marked by a decrease in pain level (VAS). There has been a significant improvement in these indicators.

Idiopathic FF occurs in children and adolescents quite often and for the most part, it is asymptomatic. Indications for surgery are pain and disability in the absence of the effect of conservative treatment. The choice of surgery has now narrowed to arthroeresis of the subtalar joint and lengthening osteotomy of the os calcis, according to Evans–Mosca, complex multicomponent interventions are a thing of the past. Subtalar arthroeresis is a very popular technique for the correction of FF in children. A significant advantage of a subtalar arthroeresis is a minor trauma, the disadvantages are the possibility of painful dysfunction, migration of the implant and its removal, and limiting the eversion. Due to this, lengthening osteotomy of the os calcis looks more attractive, despite the greater complexity and duration, and the need for bone grafting.

Lengthening of the os calcis osteotomy in the treatment of FF in children provides a good functional result [1,3,5,8,13,15]. G.V. Viegas et al. [17] evaluated os calcis lengthening osteotomy results in 17 patients (34 feet) with a maximum follow-up period of 48 months. They used the AOFAS scale and showed a 27.76 increase from 68.59 to 85.76 points after 3 months; up to 96.35 points in terms of 8–48 months. Similar results were obtained by V. De Luna et al. [3] in 14 patients with an average follow-up period of 7 years 7 months: from 69.03 (59–78 points) to 97.44 (89–100 points). The maximum follow-up period was 12 years.

According to the systematic review of the literature (341 publications) in 2016, the results of the Evans–Mosca operation in 105 patients (167 feet) were published [11]. Most of the publications were presented by retrospective studies (level III and IV of evidence), and there was a high degree of patient satisfaction.

A. Dogan et al. [4] indicate a very positive moment of lengthening osteotomy of the os calcis – it leaves the possibility for any surgery on the foot skeleton in the future, in contrast to arthrodesis of the medial column, subtalar, and triple arthrodesis.

According to V. De Luna and others, important advantages of Evans–Mosca surgery are the preservation of

movements in the subtalar joint within physiological limits, multiplanar correction, and simple surgery [3].

When establishing indications for lengthening osteotomy of the os calcis, we use a radiographic sign that indicates a shortening of the lateral column of the foot. It consists of the location of the edge of the anterior process of the calcis behind the edge of the talus head – a kind of «calcis minus» symptom, or described by F. Bonnel et al. type III ratio of talus and calcis lengths [2]. They believe that such a relatively shortening of the os calcis may cause instability of the medial column of the foot. The positive effect of lengthening calcaneal osteotomy is manifested by the alignment of the relative lengths of talus and calcis.

Some authors use a graft from the tibia, others – iliac crest autograft as well as allografts [1,3,5,8,15]. S.A. Müller et al. compared the results of the use of auto- and allografts in the lengthening osteotomy of the os calcis and found no significant difference in terms of bony union and functional results [15]. We also did not see a significant difference in the timing of accretion when using auto- and allografts. We prefer autografting, but in cases up to 10 years, we use a scaffold from the femoral head. The main advantage of allografting is the absence of donor-site morbidity.

X-ray dynamics is evaluated by the rate of union and graft remodeling, and the change of radiographic parameters. There is no consensus in the literature on what parameters and what terms to apply them [11]. The most popular are angles: vertical and horizontal talo-1st-metatarsal, vertical and horizontal talo-calcaneal, calcaneal inclination angle, talar declination angle, talo-navicular coverage angle [11]. However, almost no one calculates all these angles, preferring a maximum of three. We use vertical and horizontal TMA, CIA. Vertical and horizontal TMA reflect, respectively, the height of the medial arch and abduction-adduction of the forefoot, CIA – its projection slope. The three-coordinate correction that occurs during the Evans operation affects the values of these three angles.

In our patients, nonunion of the lengthening calcaneal osteotomy was never observed. All radiographic parameters were improved, the difference between pre- and postoperative values was statistically significant ( $p < 0.001$ ).

It is very important to ensure a sufficient amount of foot extension during the lengthening of the os calcis osteotomy. Some authors carry out percutaneous Achilles tendon lengthening, another – open surgery [1,3,4], but everyone pays attention to the need to correct equinus. In our study, all cases were presented by FF with m. triceps surae shortening. The lengthening of the lateral

## Original articles. Orthopedics

column caused an even greater restriction of the foot extension. In our cases, after the os calcis lengthening, the deficit of the effective foot extension exceeded 15°, which required an open Achilles tendon lengthening.

Our research has certain disadvantages that are inherent in all publications on the issue of lengthening the os calcis osteotomy. These shortcomings: retrospective study, small number of patients, and lack of randomization. This is indicated in systematic reviews of the literature [10,11]. On the other hand, it is likely that the lengthening of the os calcis osteotomy will continue to be a fairly exclusive operation.

### Conclusion.

Os calcis lengthening osteotomy is an effective operation in the treatment of symptomatic flexible flatfoot in children, which provides a significant reduction in pain, good clinical and radiological results. It is based on the simultaneous normalization of the geometry of the peritalar zone while maintaining movements in the hindfoot within physiological limits. An important component of the successful result of the os calcis osteotomy is to ensure sufficient foot extension, which requires lengthening of the Achilles tendon. The advantages of os calcis lengthening osteotomy are simple surgical techniques and a low risk of neurovascular complications.

*The authors declare no conflict of interest.*

### References/Література

1. Baghdadi T, Mazoochy H, Guity M, Khabbaz NH. (2018). Evaluation of clinical and radiological results of calcaneal lengthening osteotomy in pediatric idiopathic flexible flatfoot. Arch Bone Jt Surg. 6(5): 402-411. PMID: 30320181.
2. Bonnel F, Teissier P, Maestro M, Ferré B, Toullec E. (2011). Biometry of bone components in the talonavicular joint: a cadaver study. Orthop Traumatol Surg Res. 97; 6 Suppl: S66-73. doi: 10.1016/j.otsr.2011.06.005.
3. De Luna V, De Maio F, Caterini A, Marsiolo M, Petrungaro L et al. (2021). Surgical treatment of severe idiopathic flexible flatfoot by evans-mosca technique in adolescent patients: a long-term follow-up study. Adv Orthop. 20(1): 8843091. doi: 10.1155/2021/8843091.
4. Doğan A, Albayrak M, Akman YE, Zorer G. (2006). The results of calcaneal lengthening osteotomy for the treatment of flexible pes planovalgus and evaluation of alignment of the foot. Acta Orthop Traumatol Turc. 40(5): 356-366. PMID: 1722064.
5. Evans D. (1975). Calcaneo-valgus deformity. J Bone Joint Surg Br. 57(3): 270-278. PMID: 1171869.
6. García-Rodríguez A, Martín-Jiménez F, Carnero-Varo M, Gómez-Gracia E, Gómez-Aracena J, Fernández-Crehuet J. (1999). Flexible flat feet in children: a real problem? Pediatrics. 103(6): e84. doi: 10.1542/peds.103.6.e84.
7. Harris RI, Beath T. (1948). Hypermobility flat-foot with short tendo achillis. J Bone Joint Surg Am. 30: 116-140. PMID: 18921631.
8. Kim HY, Cha YH, Lee JS, Kil K-M, Choy WS. (2020). Changes in gait and radiographic and clinical results of calcaneal lengthening osteotomy in children with idiopathic flexible flatfoot. Clin Orthop Surg. 12(3): 386-395. doi: 10.4055/cios19150.
9. Kitaoka H. (1994). Clinical rating systems for the ankle – hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. Foot Ankle Int. 15(7): 349-53. doi: 10.1177/107110079401500701.
10. Kumar S, Sonanis SV. (2017). Lateral column lengthening for adolescent idiopathic pes planovalgus deformity – Systematic review. J Orthop. 31; 14(4): 571-576. doi: 10.1016/j.jor.2017.07.013.
11. Lima TC, Volpon JB. (2018). Calcaneal lateral column lengthening osteotomy for symptomatic flexible flatfoot in children and adolescents: a systematic review. Rev Col Bras Cir. 45(6): e1969. doi: 10.1590/0100-6991e-20181969.
12. Martinelli N, Scotto GM, Sartorelli E, Bonifacini C, Bianchi A, Malerba F. (2014). Reliability, validity and responsiveness of the Italian version of the Foot Function Index in patients with foot and ankle diseases. Qual Life Res. 23(1): 277-284. doi: 10.1007/s11136-013-0435-4.
13. Mosca VS. (1995). Calcaneal lengthening for valgus deformity of the hindfoot. Results in children who had severe, symptomatic flatfoot and skewfoot. J Bone Joint Surg Am. 77(4): 500-512. doi: 10.2106/00004623-199504000-00002.
14. Mosca VS. (2010). Flexible flatfoot in children and adolescents. J Child Orthop. 4(2): 107-121. doi: 10.1007/s11832-010-0239-9.
15. Müller SA, Barg A, Vavken P, Valderrabano V, Müller AM. (2016). Autograft versus sterilized allograft for lateral calcaneal lengthening osteotomies: Comparison of 50 patients. Medicine (Baltimore). 95(30): e4343. doi: 10.1097/MD.0000000000004343.
16. Sangeorzan BJ, Mosca V, Hansen ST Jr. (1993). Effect of calcaneal lengthening on relationships among the hindfoot, midfoot, and forefoot. Foot Ankle. 14(3): 136-141. doi: 10.1177/107110079301400305.
17. Viegas GV. (2003). Reconstruction of the pediatric flexible planovalgus foot by using an Evans calcaneal osteotomy and augmentative medial split tibialis anterior tendon transfer. J Foot Ankle Surg. 42(4): 199-207. doi: 10.1016/s1067-2516(03)70029-5.

### Відомості про авторів:

**Лябах Андрій Петрович** – д.мед.н., проф., зав. відділом патології стопи та складного протезування ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України». Адреса: м. Київ, вул. Бульварно-Кудрявська, 27; тел.: +38 (044) 486-24-87. <https://orcid.org/0000-0001-5734-2392>.

**Турчин Олена Андріївна** – д.мед.н., зав. відділенням патології стопи та складного протезування ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України». Адреса: м. Київ, вул. Бульварно-Кудрявська, 27; тел.: +38 (044) 486-26-89. <https://orcid.org/0000-0002-8668-7063>.

**Омельченко Тарас Миколайович** – д.мед.н., проф. каф. травматології та ортопедії НМУ ім. О.О. Богомольця. Адреса: м. Київ, бульв. Шевченка, 13. <https://orcid.org/0000-0003-1722-0803>.

Стаття надійшла до редакції 12.07.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.

УДК 616.711-007.5-053.2-089-06:616.832-001-084]-073.7

К.С. Курисько<sup>1,2</sup>, А.Ф. Левицький<sup>1,2</sup>

# Роль інтраопераційного нейрофізіологічного моніторингу в пацієнтів дитячого віку під час хірургічного лікування ідіопатичного сколіозу

<sup>1</sup>Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Національна дитяча спеціалізована лікарня «ОХМАТДИТ», м. Київ, Україна

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 47-53. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).4753

**For citation:** Kurysko KS, Levytskyi AF. (2025). The role of intraoperative neurophysiological monitoring in pediatric patients during surgical treatment of idiopathic scoliosis. Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 47-53. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).4753.

Ятрогенне ушкодження спинного мозку, що призводить до параплегії, є рідкісним, але тяжким ускладненням. Рівень його поширеності за корегування деформацій хребта, за оцінками Товариства дослідження сколіозу, становить принаймні 1%. Інтраопераційний нейрофізіологічний моніторинг (ІОНМ) широко застосовується, щоб попередити хірургічну бригаду про потенційно оборотний неврологічний дефіцит, а це приводить до кращого прогнозу.

**Мета** – оцінити значення чутливості й специфічності моторних викликаних потенціалів (МВП) для прогнозування та запобігання неврологічного дефіциту в оперативному лікуванні ідіопатичного сколіозу в дітей.

**Матеріали і методи.** До дослідження залучено 90 пацієнтів із діагнозом ідіопатичного сколіозу грудно-поперекового відділу хребта. Усім пацієнтам у разі хірургічного корегування ідіопатичного сколіозу проведено ІОНМ. Проаналізовано модальності ІОНМ – електроміографію в режимі реального часу та МВП із вимірюванням амплітуди моторної відповіді. Після зниження амплітуди МВП понад 70% від вихідного рівня або повного зникнення з одного чи двох боків усім пацієнтам проведено заходи відповідно до протоколу втрат сигналів МВП, що був нами модифікований.

**Результати.** Зміни показників МВП спостерігалися в 22 (24,4%) випадках. Післяопераційний транзиторний неврологічний дефіцит відзначався в 10 (11%) пацієнтів, що регресував протягом 2–3 тижнів після оперативного втручання. За розрахунками, чутливість методу МВП становила 100%, специфічність методу МВП – 85%, прогностична значущість позитивного результату – 45,5%, прогностична значущість негативного результату – 100%.

**Висновки.** ІОНМ із використанням МВП має високу чутливість і специфічність для виявлення нових пошкоджень спинного мозку в пацієнтів дитячого віку, яким проводять хірургічне втручання з приводу ідіопатичного сколіозу. Застосування заходів відповідно до протоколу втрати сигналів МВП є результативним для зменшення кількості пацієнтів із післяопераційним ятрогенним неврологічним дефіцитом, що мають зміни показників МВП в інтраопераційному періоді.

Дослідження виконано згідно з принципами Гельсінської декларації. Протокол дослідження ухвалено локальним етичним комітетом інституту. На проведення досліджень отримано інформовану згоду батьків дітей.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** ідіопатичний сколіоз, деформація хребта, безпека хірургії хребта, задня коригуюча інструментація хребта, інтраопераційний нейрофізіологічний нейромоніторинг, моторні викликані потенціали.

## Original articles. Orthopedics

### The role of intraoperative neurophysiological monitoring in pediatric patients during surgical treatment of idiopathic scoliosis

K.S. Kurysko<sup>1,2</sup>, A.F. Levytskyi<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>National Specialized Children's Hospital 'OKHMATDYT', Kyiv, Ukraine

Iatrogenic spinal cord injury leading to paraplegia is a rare but severe complication. Its prevalence during correction of spinal deformities, according to estimates by the Scoliosis Research Society to be at least 1%. Intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) is widely used for real-time feedback on spinal cord function to alert the surgical team about potentially reversible neurological deficits, allowing early detection of intraoperative spinal cord injury, which enables early intervention, leading to a better prognosis.

**Aim** – to determine the significance of the sensitivity and specificity of motor evoked potentials for predicting and preventing neurological deficits during surgical treatment of idiopathic scoliosis in children.

**Materials and methods.** The study included 90 patients diagnosed with idiopathic scoliosis of the thoracolumbar spine. We analyzed the following modalities of intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) – free run electromyography and motor evoked potentials (MEP), with measurement of the amplitude of the motor response. When the MEP amplitude decreased by more than 70% from the baseline, or completely disappeared on one or both sides, all patients underwent measures according to the MEP loss protocol, which was modified by us.

**Results.** Changes in motor evoked potential were observed in 22 (24.4%) cases. Postoperative transient neurological deficit was observed in 10 (11%) patients, which regressed within 2–3 weeks after surgery. In our calculations, MEP method sensitivity was 100%, specificity was 85%, positive predictive value was 45.5%, and negative predictive value was 100%.

**Conclusions.** Intraoperative neurophysiological monitoring using MEP is effective for predicting and preventing threatening neurological deficits during surgical treatment of idiopathic scoliosis in children. MEP monitoring has high sensitivity and specificity for detecting new spinal cord injuries in pediatric patients undergoing surgery for idiopathic scoliosis. Application of measures according to the MEP signal loss protocol is effective in reducing the number of patients with postoperative iatrogenic neurological deficit who have changes in MEP indicators during the intraoperative period.

The study was conducted in accordance with the principles of the Helsinki Declaration. The study protocol was approved by the local ethics committee of the institution. Informed consent was obtained from patients for the study.

The authors declare no conflict of interest.

**Keywords:** idiopathic scoliosis, spinal deformity, spinal surgery safety, posterior corrective spinal instrumentation, intraoperative neurophysiological monitoring, motor evoked potentials.

## Вступ

Ятрогенне ушкодження спинного мозку, що призводить до параплегії, є рідкісним, але тяжким ускладненням. Рівень поширеності такого неврологічного дефіциту під час корегування деформацій хребта, за оцінками Товариства дослідження сколіозу, становить 1% [2,3,7,12].

Інтраопераційний нейрофізіологічний моніторинг (ІОНМ) широко застосовується для зворотного зв'язку в режимі реального часу щодо контролю функції спинного мозку, щоб попередити хірургічну бригаду про потенційно оборотний неврологічний дефіцит. Допомогає на ранній стадії виявити інтраопераційне ушкодження спинного мозку, а це дає змогу провести раннє втручання, що приводить до кращого прогнозу [4–6,9,10].

Сфера ІОНМ змінила менеджмент хірургії хребта, надаючи спінальним хірургам дані про періопераційну неврологічну функцію в реальному часі [1,3].

Моторні викликані потенціали (МВП), що є однією з основних модальностей ІОНМ, дуже чутливі до змін кровотоку спинного мозку внаслідок гіпотонії або судинного ураження [5,8,10,11]

За даними літератури, МВП мають чутливість 91% (95% довірчий інтервал (ДІ): 34–100%) і специфічність – 96% (95% ДІ: 92–98%) у разі хірургічного корегування ідіопатичного сколіозу, також мають 100% негативну прогностичну цінність і дають змогу своєчасно визначити фізіологічний дистрес спинного мозку, а отже, провести негайне втручання [4,8,12,14].

**Мета** дослідження – оцінити значення чутливості й специфічності МВП для прогнозування і запобігання неврологічного дефіциту в оперативному лікуванні ідіопатичного сколіозу в дітей.

## Матеріали і методи дослідження

До дослідження залучено 90 пацієнтів із діагнозом ідіопатичного сколіозу груднопоперекового відділу хребта, що перебували на лікуванні у відділенні ортопедії та травматології Національної дитячої спеціалізованої лікарні «ОХМАТДИТ» м. Київ за період 2019–2024 рр.

**Критерії залучення:** вік від 10 до 18 років, основний діагноз «Ідіопатичний сколіоз грудно-поперекового відділу хребта».

**Критерії вилучення:** неврологічний дефіцит, вік понад 18 років.

Усім пацієнтам під час хірургічного корегування ідіопатичного сколіозу проведено ІОНМ. Проаналізовано такі модальності ІОНМ – електроміографію в режимі реального часу та МВП з вимірюванням амплітуди моторної відповіді. ІОНМ проведено за допомогою апарату для ІОНМ «ISIS Express», 32 канали.

Моторні викликані потенціали отримано за допомогою транскраніальної електричної стимуляції. Штопорні стимулюючі електроди розміщено підшкірно над проекцією моторної кори в точках Fz (анод) і Cz (катод). Запис МВП проведено парними голками довжиною 15–20 мм і діаметром 0,4 мм, розміщеними в м'язах обабіч: прямий м'яз живота, чотириголовий м'яз стегна, передній великогомілковий м'яз, м'яз, що відводить великий палець стопи на відстані 4,0 см одна від одної. Силу струму від 90 до 250 мА, трейном 6–7 імпульсів, ширину імпульсу 500 мс, частоту 1 Гц застосовано до штопорних електродів. Одна стимуляція – 5–7 імпульсів, тривалість – 50–75 мікросекунд. Інтервали між стимулами – 4,0 мс. Амплітуду моторної відповіді ви-

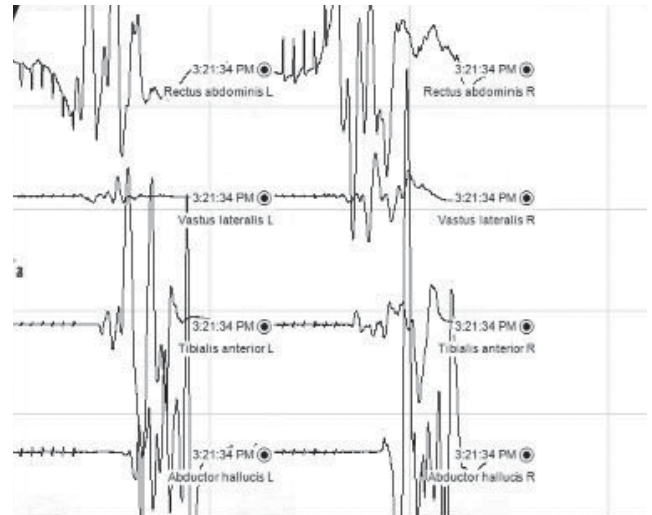


Рис. 1. Моторні відповіді з м'язів після стимуляції МВП

міряно від позитивного піку до негативного піку в мВт, її показник на початку оперативного втручання вважається базовим, від нього рахуються зміни у відсотках. МВП (рис. 1) отримано на початку оперативного доступу, після встановлення кожного педікулярного гвинта, кожні 3–5 хвилин під час критичних етапів операції, зокрема, декомпресії, детор-

Таблиця 1

Протокол втрати сигналів МВП в хірургічному лікуванні ідіопатичного сколіозу в дітей

| Лікар                                                                                 | Дії                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Перший етап перевірки                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Спеціаліст з ІОНМ                                                                     | Оповістити операційну бригаду про зміни показників ІОНМ. Перевірити електроди/з'єднання.<br>Переглянути техніку анестезії (чи не було використано міорелаксанти, гази)                                                                                                                                                                                                                               |
| Хірург                                                                                | Хірургічна пауза.<br>Реверсія корегувального моменту (стрижні, дистракція, деротація).<br>Якщо є педікулярний гвинт або його встановлено безпосередньо перед цим, то його слід видалити.<br>Провести тактильний контроль каналу гвинта останніх трьох рівнів інструментації.<br>Забезпечити теплий фізіологічний розчин у рану                                                                       |
| Анестезіолог                                                                          | Середній артеріальний тиск – >80 мм рт. ст.<br><ul style="list-style-type: none"> <li>Оптимізація гематокриту, рН, <math>pO_2</math> (<math>FiO_2</math> 100%).</li> <li>Нормотермія.</li> <li>Надіслати кров до лабораторії, необхідний рівень гемоглобіну має становити 100 мг/л, за потреби – відкорегувати.</li> <li>Наскільки можливо, зменшити кількість внутрішньовенної анестезії</li> </ul> |
| Другий етап перевірки                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Хірург                                                                                | Оглянути імпланти: <ul style="list-style-type: none"> <li>3D-зображення.</li> <li>Перевірити/зменшити корегування.</li> <li>Порадитися з колегою.</li> <li>Розглянути застосування місцевого блокатора кальцієвих каналів</li> </ul>                                                                                                                                                                 |
| Спеціаліст з ІОНМ                                                                     | Переглянути зміни.<br>Збільшити частоту та інтенсивність стимуляції                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Анестезіолог                                                                          | Розглянути можливість болюсного введення стероїдів (метилпреднізолон)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Третій етап перевірки через 15 хв                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Розглянути можливість завершення оперативного втручання за планом меншого корегування |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

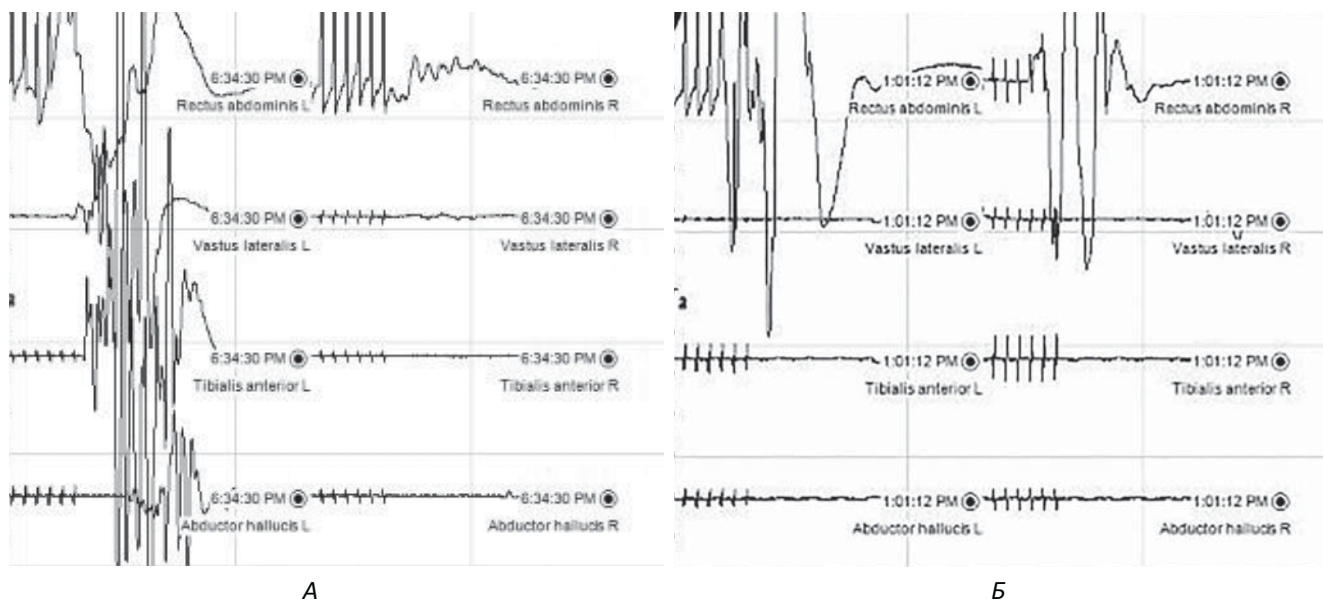


**Рис. 2.** Зміни моторних відповідей: А – зникли з лівої нижньої кінцівки; Б – зникли з обох нижніх кінцівок

тації і корекції. У менш критичні моменти оперативного втручання МВП виконано рідше та на розсуд хірурга або лікаря-спеціаліста з ІОНМ. Проведено обов'язковий контроль МВП після постановки епідурального катетера після завершення основного етапу операції [1,3].

За отриманими даними проведено точкове та інтервальне оцінювання, ROC-аналіз, враховано чутливість і специфічність методу МВП за допомогою статистичного пакету EZR. Також побудовано Номограму Фагана, що визначає передтестову і післятестову ймовірність виникнення неврологічного дефіциту.

**Оцінювання результатів.** МВП показують зменшення амплітуди моторних відповідей, якщо спинний мозок пошкоджений у грудному відділі хребта, а також реагують змінами на компресію або розтягнення корінців спинного мозку в поперековому відділі хребта. Ця методика застосовується в корегуванні груднопоперекових деформацій, а також в інших втручаннях із використанням спінального інструментарію [1,3]. Критеріями тривоги вважа-

ються зниження амплітуди моторних відповідей понад 70% від вихідного рівня або повне зникнення з одного або двох боків. У разі виникнення змін показників МВП усім пацієнтам проведено заходи з протоколу втрат нейромоніторингу, що був нами модифікований [3].

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол дослідження погоджено локальним етичним комітетом зазначеної установи. На проведення дослідження отримано інформовану згоду пацієнтів.

## Результати дослідження та їх обговорення

Усього проведено 90 втручань із приводу ідіопатичного сколіозу в дітей, у всіх випадках застосовано ІОНМ із використанням спонтанної міографії та МВП.

У разі виникнення змін МВП пацієнтам виконано заходи відповідно до модифікованого протоколу втрати сигналів МВП (табл. 1). Відмінність цього протоколу полягає в тому, що не проводиться тест із пробудженням, ІОНМ контролює безпосередньо

**Таблиця 2**

Зміни показників МВП інтраопераційно, абс. (%)

| Параметр                                                    | Кількість пацієнтів |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|
| Змін не виявлено                                            | 68 (75,6)           |
| Зміни показників ІОНМ:                                      | 22 (24,4)           |
| за 15 хвилин після переоцінки – I етап перевірки            | 18 (20,0)           |
| після вживання заходів протоколу втрат – II етап перевірки  | 15 (16,6)           |
| після вживання заходів протоколу втрат – III етап перевірки | 14 (15,5)           |
| На момент пробудження після операції                        | 10 (11,0)           |
| Неврологічний дефіцит на момент виписки                     | 0 (0,0)             |

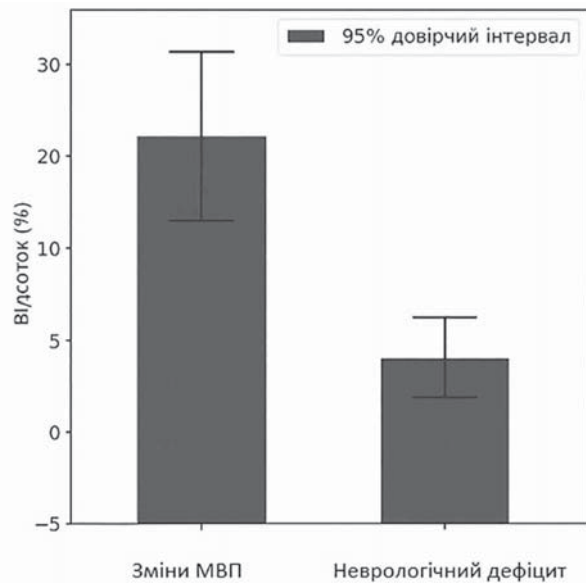


**Рис. 3.** Інтервальне оцінювання показників змін МВП і настання неврологічного дефіциту в післяопераційному періоді (вказано значення частоти, %, стандартна похибка і 95% довірчий інтервал)

лікар-спеціаліст з ІОНМ, не проводяться епідуральні МВП, що, за даними літератури, не достовірні [13].

Зміни показників МВП у вигляді зниження їхньої амплітуди понад 70% або повне зникнення з одного чи двох боків виявлено у 22 (24,4%) випадках (табл. 2). У решти 68 пацієнтів не встановлено змін упродовж оперативного втручання.

Першим кроком було обов'язкове оповіщення операційної бригади про зміни показників ІОНМ, після чого робилася хірургічна пауза, тактильна перевірка стінок каналу гвинта останніх трьох рівнів інструментації за допомогою хірургічного інструменту або реверсії корегувального маневру, зігрівання рани теплим розчином 0,9% хлориду натрію. Спеціаліст з ІОНМ на цьому етапі мав перевірити всі з'єднання, електроди, системи. Анестезіолог мав контролювати тиск (середній артеріальний тиск – >80 мм рт. ст.), насиченість крові  $PO_2$  і  $PCO_2$ , терміново визначити рівень гемоглобіну, а в подальшому підтримувати його на рівні понад 100 мг/л, нормотермію. Через 15 хвилин мав переоцінити показники ІОНМ. Якщо показники відновилися, то цих дій було достатньо для відновлення МВП і приймали рішення продовжити хірургічне втручання за попереднім планом. Якщо МВП не відновилися (що відзначено у 18 (20%) пацієнтів), то проводили повторні стимуляції більшою силою струму, виконували правильне проведення педікулярного гвинта за допомогою інтраопераційної комп'ютерної томографії для визначення правильності проведення педікулярних гвин-

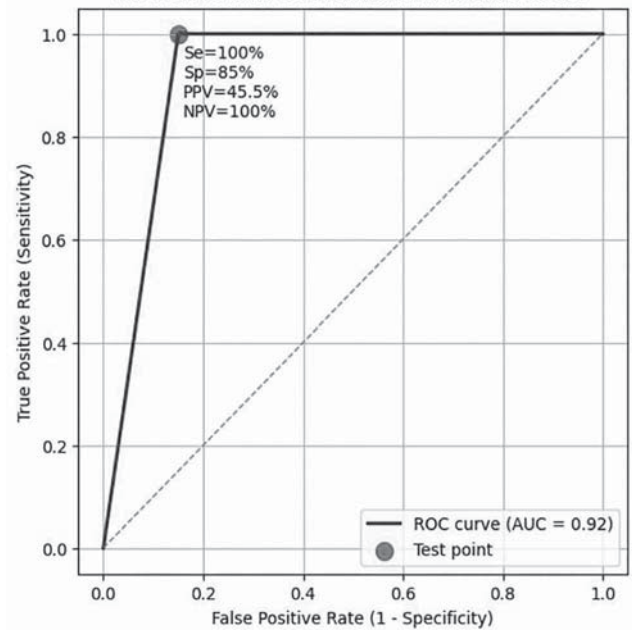


**Рис. 4.** ROC-крива дискримінантної здатності моніторингу показників МВП

тів, за потреби – перепроводили або видаляти некоректно проведений гвинт, вирішували питання щодо доцільності місцевого застосування блокаторів кальцієвих каналів, вирішували питання щодо застосування метилпреднізолону в дозі 30 мг/кг згідно з рекомендаціями Товариства дослідників сколіозу і Національного дослідження гострої травми спинного мозку [11]. Повторний контроль проводили через 15 хв. За нашими спостереженнями, після таких дій у 15 (16,6%) пацієнтів МВП залишалися без відновлення. Якщо відзначалася тенденція до відновлення МВП, то продовжували оперативне втручання, як заплановано. Якщо не було МВП з одного або двох боків, такі показники зберігалися в 14 (15,5%) пацієнтів, за коректного проведення гвинтів, то хірургічне лікування продовжували, проте ступінь корегування був меншим за запланований, і в цьому випадку пацієнти отримували метилпреднізолон парентерально протягом доби.

Післяопераційний транзиторний неврологічний дефіцит у вигляді нижнього моно-, парапарезу та одно-, двобічного порушення больової та пропріоцептивної чутливості в нижніх кінцівках виявлено в 10 (11%) пацієнтів, які в післяопераційному періоді отримували метилпреднізолон протягом доби. На другу добу починали раннє реабілітаційне лікування спеціалістами відділення гострої реабілітації. З наступної доби після оперативного втручання рекомендували обов'язкову вертикалізацію пацієнта. Протягом 2–3 тижнів після оперативного втручання відзначався регрес неврологічного дефіциту.

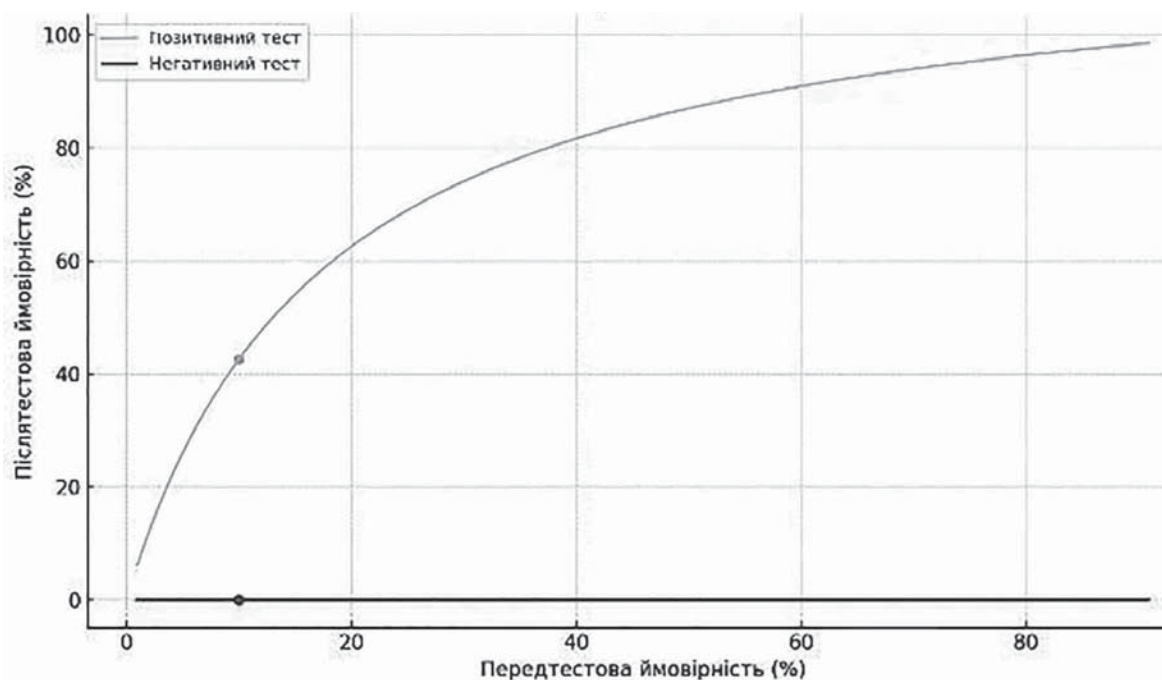


Рис. 5. Номограма Фагана

За даними таблиці 2, після кожного етапу дій за протоколом втрат МВП кількість пацієнтів зі змінами показників МВП зменшувалася.

За результатами розрахунку кількості пацієнтів, у яких виявили зміни показників ІОНМ інтраопераційно, неврологічний дефіцит у післяопераційному періоді, і пацієнтів без жодних змін інтраопераційних МВП отримано такі дані: чутливість методу МВП становила 100% (95% довірчий інтервал (ДІ): 69,1–100%), специфічність методу МВП – 85% (95% ДІ: 75,60–91,2%). Прогностична значущість позитивного результату (PPV) дорівнювала 45,5% (95% ДІ: 26,9–63,5%), прогностична значущість негативного результату (NPV) – 100% (95% ДІ: 97,4–100%). Розрахунки виконано за допомогою статистичного пакету EZR.

Тобто кожний пацієнт, у якого в післяопераційному періоді був неврологічний дефіцит у вигляді зниження сили м'язів з одного або двох боків, у 100% випадків мав зміни показників МВП у вигляді зниження М-відповіді понад 70% або зникнення з одного або двох боків, відповідно (рис. 2).

Водночас не у всіх пацієнтів зі змінами показників МВП відзначався неврологічний дефіцит, що, на нашу думку, пов'язано зі вчасним застосуванням медикаментозних і немедикаментозних заходів відповідно до протоколу втрати сигналів МВП. Зміни показників МВП спостерігалися у 22 (24,4%) пацієнтів (95% ДІ: 15,4–33,5%), післяопераційний неврологічний дефіцит відзначався у 10 (11,1%) пацієнтів

(95% ДІ: 4,6–17,6%), Відмінність була статистично значущою ( $p < 0,0001$ ) (рис. 3).

За результатами ROC-аналізу моніторингу МВП, останній показав високу діагностичну здатність тесту. Площа під ROC-кривою (AUC) становила 0,92, що відповідало відмінній дискримінаційній здатності (рис. 4).

Також побудовано номограму Фагана (рис. 5), яка засвідчила, що перед хірургічним втручанням виникнення післяопераційного неврологічного дефіциту становить 10%, після виявлення змін показників МВП ймовірність настання такого дефіциту збільшується до 43%. Якщо показники МВП залишаються без змін, то ймовірність настання післяопераційного неврологічного дефіциту падає майже до 0%.

Це свідчить, що моніторинг МВП добре підтверджує або спростовує настання неврологічного післяопераційного дефіциту.

Проведено порівняння отриманих нами показників із даними літературних джерел [4,8,12,14]. Отримані нами показники чутливості мають вищий рівень, що пов'язано з відсутністю пацієнтів із хибно позитивними втратами показників МВП, а нижчі показники специфічності пов'язані з активним і чітким використанням протоколу втрати показників МВП, що знижує кількість пацієнтів із післяопераційним неврологічним дефіцитом за наявності змін показників моторних відповідей інтраопераційно. Також має значення, що в наведеному нами дослідженні брали участь пацієнти дитячого віку.

## Висновки

Інтраопераційний нейрофізіологічний моніторинг із використанням МВП має високу чутливість і специфічність для виявлення нових пошкоджень спинного мозку в пацієнтів дитячого віку, яким проводять хірургічне втручання з приводу ідіопатичного сколіозу. Застосування заходів відповідно до протоколу втрати сигналів МВП є результативним для зменшення кількості пацієнтів із післяопераційним ятрогенним неврологічним дефіцитом, що мають зміни показників МВП в інтраопераційному періоді.

*Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.*

## References/Література

- Deletis V. (2005, Oct). What does intraoperative monitoring of motor evoked potentials bring to the neurosurgeon? *Acta Neurochir (Wien)*. 147(10): 1015-1107. doi: 10.1007/s00701-005-0573-8. PMID: 16133779.
- Diab M, Smith AR, Kuklo TR. (2007, Nov 15). Spinal Deformity Study Group. Neural complications in the surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 32(24): 2759-2763. doi: 10.1097/BRS.0b013e31815a5970. PMID: 18007257.
- Guiroy A, Candocia A, Fontes RBV. (2020). Intraoperative neuromonitoring and complex spine surgery. Chapter 28. In: *Neurophysiology in Neurosurgery: A Modern Approach*. Editor(s): Vedran Deletis, Jay L. Shils, Francesco Sala, Kathleen Seidel. 2nd Edition. Academic Press: 381-394. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815000-9.00028-9>.
- Magampa RS, Dunn R. (2021, Mar). Surgeon-directed transcranial motor evoked potential spinal cord monitoring in spinal deformity surgery. *Bone Joint J*. 103-B(3): 547-552. doi: 10.1302/0301-620X.103B3.BJJ-2020-1278.R1. PMID: 33641421.
- Macdonald DB, Skinner S, Shils J, Yingling C. (2013, Dec). American Society of Neurophysiological Monitoring. Intraoperative motor evoked potential monitoring – a position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. *Clin Neurophysiol*. 124(12): 2291-2316. Epub 2013 Sep 18. doi: 10.1016/j.clinph.2013.07.025. PMID: 24055297.
- Miller SM, Donegan SW, Voigt N, Eltorai AEM, Nguyen J, Machan JT et al. (2019, Mar 12). Transcranial motor-evoked potentials for prediction of postoperative neurologic and motor deficit following surgery for thoracolumbar scoliosis. *Orthop Rev (Pavia)*. 11(1): 7757. doi: 10.4081/or.2019.7757. PMID: 30996839; PMCID: PMC6452093.
- Pastorelli F, Di Silvestre M, Plasmati R, Michelucci R, Greggi T, Morigi A et al. (2011, May). The prevention of neural complications in the surgical treatment of scoliosis: the role of the neurophysiological intraoperative monitoring. *Eur Spine J*. 20; Suppl 1: S105-114. Epub 2011 Mar 18. doi: 10.1007/s00586-011-1756-z. PMID: 21416379; PMCID: PMC3087032.
- Reddy RP, Gorijala VK, Kaithi VR, Shandal V, Anetakis KM, Balzer JR et al. (2023, Oct). Utility of transcranial motor-evoked potential changes in predicting postoperative deficit in lumbar decompression and fusion surgery: a systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J*. 32(10): 3321-3332. Epub 2023 Aug 26. doi: 10.1007/s00586-023-07879-y. PMID: 37626247.
- Reddy RP, Singh-Varma A, Chang R, Vedire A, Anetakis KM, Balzer JR, Crammond DJ et al. (2024, Jun). Transcranial Motor Evoked Potentials as a Predictive Modality for Postoperative Deficit in Cervical Spine Decompression Surgery – A Systematic Review and Meta-Analysis. *Global Spine J*. 14(5): 1609-1628. Epub 2023 Dec 4. doi: 10.1177/21925682231219224. PMID: 38047537; PMCID: PMC11394496.
- Sala F, Krzan MJ, Deletis V. (2002). Intraoperative neurophysiological monitoring in pediatric neurosurgery: why, when, how? *Childs Nerv Syst*. 2002 Jul;18(6-7):264-87. doi: 10.1007/s00381-002-0582-3. Epub 2002 Jun 13. PMID: 12172930.
- Schwartz DM, Auerbach JD, Dormans JP, Flynn J, Drummond DS, Bowe JA et al. (2007, Nov). Neurophysiological detection of impending spinal cord injury during scoliosis surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 89(11): 2440-2449. doi: 10.2106/JBJS.E.01476. PMID: 17974887.
- Thirumala PD, Crammond DJ, Loke YK, Cheng HL, Huang J, Balzer JR. (2017, Mar). Diagnostic accuracy of motor evoked potentials to detect neurological deficit during idiopathic scoliosis correction: a systematic review. *J Neurosurg Spine*. 26(3): 374-383. Epub 2016 Dec 9. doi: 10.3171/2015.7.SPINE15466. PMID: 27935448.
- Ulkatan S, Neuwirth M, Bitan F, Minardi C, Kokoszka A, Deletis V. (2006, Sep). Monitoring of scoliosis surgery with epidurally recorded motor evoked potentials (D wave) revealed false results. *Clin Neurophysiol*. 117(9): 2093-2101. Epub 2006 Jul 17. doi: 10.1016/j.clinph.2006.05.021. PMID: 16844406.
- Zuccaro M, Zuccaro J, Samdani AF, Pahys JM, Hwang SW. (2017, Oct). Intraoperative neuromonitoring alerts in a pediatric deformity center. *Neurosurg Focus*. 43(4): E8. doi: 10.3171/2017.7.FOCUS17364. PMID: 28965444.

## Відомості про авторів:

**Курисько Кіра Сергіївна** – лікар-ортопед-травматолог дитячий НДСЛ «ОХМАТДИТ»; аспірант каф. дитячої хірургії НМУ ім. О.О. Богомольця. Адреса: м. Київ, вул. В. Чорновола, 28/1, корпус 11, тел. (044) 236-70-52. <https://orcid.org/0009-0000-1245-5799>.

**Левицький Анатолій Феодосійович** – д.мед.н., проф., зав. каф. дитячої хірургії НМУ ім. О.О. Богомольця. Адреса: м. Київ, вул. В. Чорновола, 28/1, корпус 11, тел. (044) 236-70-52. <https://orcid.org/0000-0002-4440-2090>.

Стаття надійшла до редакції 12.09.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.

Г.В. Курило<sup>1,2</sup>, В.М. П'єц<sup>2</sup>, Д.І. Грицак<sup>2</sup>

## Біопсія в прогнозуванні морфологічних змін після трансплантації печінки в дітей

<sup>1</sup>ДНТ «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького», Україна

<sup>2</sup>КНП «Львівське територіальне медичне об'єднання «Багатопрофільна клінічна лікарня інтенсивних методів лікування та швидкої медичної допомоги», Україна

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 54-58. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).5458

**For citation:** Kurylo HV, Pjets VM, Hrytsak DI. (2025). Liver biopsy in predicting morphological changes after liver transplantation in children. Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 10-17. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).1017.

Субклінічні гістопатологічні зміни в трансплантованій печінці є частою проблемою, оскільки вони часто прогресують без клінічних проявів і не завжди відображаються в стандартних лабораторних тестах.

**Мета** – оцінити гістопатологічні зміни трансплантованої печінки у дітей після трансплантації та їх зв'язок із клінічними й біохімічними показниками реципієнтів.

**Матеріали і методи.** Залучено 48 дітей після трансплантації печінки, які перебували під динамічним спостереженням в одному трансплантаційному центрі. Біопсії проведено за протоколом довготривалого спостереження. Гістологічний аналіз здійснено за шкалою Ishak з оцінюванням фіброзу, запальної активності, холестази, ураження жовчних протоків і стеатозу. Стандартні лабораторні показники функції печінки (аланінамінотрансферазу, аспартатамінотрансферазу, загальний білірубін, гамма-глутамілтранспептидазу) використано для аналізу зв'язку з морфологічними змінами.

**Результати.** Гістопатологічні зміни виявлено в 44 (92,1%) пацієнтів, навіть за нормальних лабораторних показників і за відсутності клінічних проявів. Найпоширенішим серед них був фіброз (середній ступінь  $3,2 \pm 1,4$  за Ishak). Запальні інфільтрати відзначено в 54,2% пацієнтів, холестаз – у 43,8%, стеатоз – у 37,5%, ураження жовчних протоків – у 31,3%. Кореляція між лабораторними показниками та морфологічними змінами була слабкою і статистично недостовірною.

**Висновки.** Субклінічні гістопатологічні зміни трансплантованої печінки після пересадки є частими та різноманітними. Біопсія печінки залишається критично важливою для раннього встановлення діагнозу структурних змін та оптимізації імуносупресивної терапії навіть за нормальних лабораторних показників.

Дослідження виконано згідно з принципами Гельсінської декларації. Протокол дослідження ухвалено локальним етичним комітетом інституту. На проведення досліджень отримано інформовану згоду батьків дітей.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** трансплантація печінки, діти, гістопатологічні зміни, фіброз, холестаз, стеатоз, запальні інфільтрати, біопсія.

### Liver biopsy in predicting morphological changes after liver transplantation in children

H.V. Kurylo<sup>1,2</sup>, V.M. Pjets<sup>2</sup>, D.I. Hrytsak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Danylo Halytsky Lviv National Medical University, Ukraine

<sup>2</sup>Lviv Regional Medical Association «Multidisciplinary Clinical Hospital of Intensive Treatment and Emergency Care», Ukraine

Subclinical histopathological changes in the transplanted liver are a common issue after liver transplantation, as they often progress without clinical manifestations and may not be detected by standard laboratory tests.

**Aim** – to evaluate histopathological changes in liver grafts in pediatric recipients after transplantation and their association with clinical and biochemical parameters.

**Materials and methods.** The study included 48 children after liver transplantation under dynamic follow-up at a single transplant center. Liver biopsies were performed according to long-term follow-up protocols. Histological analysis was conducted using the Ishak score to assess fibrosis, inflammatory activity, cholestasis, bile duct injury, and steatosis. Standard liver function tests (alanine amino-

transferase, aspartate aminotransferase, total bilirubin, gamma-glutamyl transpeptidase) were analyzed for correlations with morphological changes.

**Results.** Histopathological changes were detected in 44 (92.1%) patients, even in the absence of abnormal laboratory values or clinical symptoms. Fibrosis was the most common finding (mean Ishak score  $3.2 \pm 1.4$ ). Portal inflammatory infiltrates were present in 54.2% of patients, cholestasis in 43.8%, steatosis in 37.5%, and bile duct injury in 31.3%. Correlation between laboratory markers and morphological changes was weak and statistically insignificant.

**Conclusions.** Subclinical histopathological changes in transplanted livers after transplantation are frequent and diverse. Liver biopsy remains critical for early detection of structural alterations and optimization of immunosuppressive therapy, even when laboratory tests are normal. The research was carried out in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. Informed consent of the child and child's parents was obtained for the research.

The authors declare no conflict of interest.

**Keywords:** liver transplantation, children, histopathological changes, fibrosis, cholestasis, steatosis, inflammatory infiltrates, biopsy.

## Вступ

Трансплантація печінки є традиційним методом лікування дітей при термінальній стадії печінкової недостатності [2,8]. Упродовж останніх років виживаність дітей після трансплантації печінки поліпшилася, а тривалість функціонування трансплантата значно продовжилася. Найбільш інформативним джерелом про стан графту, ступінь фіброзу, імунологічні ураження, запальні та інші зміни в трансплантованій печінці є біопсія [1,2]. Незважаючи на значне вдосконалення клініко-лабораторних неінвазивних досліджень, вони не завжди відображають реального стану функціонування чи ураження трансплантата.

**Мета** дослідження – проаналізувати гістопатологічні зміни трансплантованої печінки у дітей після трансплантації та визначити їх асоціацію з клінічними й біохімічними показниками реципієнтів для оцінки інформативності неінвазивних маркерів функції трансплантата.

## Матеріали і методи дослідження

До дослідження залучили 48 дітей після трансплантації печінки, які перебували під динамічним спостереженням в одному трансплантаційному центрі. Дослідження мало ретроспективний обсерваційний характер. Вік пацієнтів на момент виконання біопсії становив від 2 до 18 років (середній вік –  $10,6 \pm 4,2$  року).

Основними показаннями до трансплантації були біліарна атрезія (32 (66,7%) пацієнтів) та інші холестатичні або метаболічні захворювання печінки (16 (33,3%) дітей). Пацієнти отримували трансплантати від живих і посмертних донорів. Біопсії проводили в межах протоколу довготривалого спостереження після трансплантації. Перкутанну пункційну біопсію виконували з використанням автоматичних біопсійних голок під ультразвуковим контролем.

До морфологічного аналізу включали лише біоптати, які містили не менше 10 порталних трактів. Гістологічне оцінювання проводили за шкалами Ishak (оцінювання фіброзу). Оцінювали ступінь фіброзу, запальну активність, наявність холестази, ураження та облітерацію жовчних протоків, стеатоз.

Для всіх пацієнтів визначали стандартні показники функції печінки: аланінамінотрансферазу (АЛТ), аспартатамінотрансферазу (АСТ), загальний білірубін, гамма-глутамілтранспептидазу (ГГТП). Ці показники використовували для аналізу зв'язку між лабораторними даними та морфологічними змінами трансплантата.

Статистичний аналіз проведено стандартними методами. Кількісні дані наведено у вигляді середнього значення  $\pm$  стандартне відхилення (SD) або медіани з міжквартильним інтервалом (IQR); а якісні показники – як абсолютні значення та відсотки. Для порівняння груп використано t-критерій Стюдента. Кореляційний аналіз проведено з використанням коефіцієнта кореляції Пірсона. Статистично значущими прийнято відмінності при  $p < 0,05$ .

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації та схвалено локальним етичним комітетом. Від батьків або законних представників дітей отримано інформовану згоду на проведення діагностичних процедур.

## Результати дослідження та їх обговорення

У дослідженій когорті з 48 дітей після трансплантації печінки в 44 (91,7%) пацієнтів відзначалися гістопатологічні зміни навіть за відсутності клінічних проявів дисфункції трансплантата і за нормальних біохімічних показників. Це свідчить про високу частоту субклінічних морфологічних змін, що вказує на необхідність регулярного гістологічного контролю для раннього встановлення діагнозу та оптимізації імунної терапії.

## Original articles. Abdominal surgery

**Таблиця 1**

Характеристика пацієнтів залежно від ступеня фіброзу трансплантованої печінки за шкалою Ishak

| Ступінь фіброзу (за шкалою Ishak) | Кількість дітей, абс. (%) | Середній вік, роки (M±SD) | Первинне захворювання (абс.)   | Тип донора (живий/посмертний) |
|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 0–1 (мінімальний)                 | 4 (8,3)                   | 6,2±2,1                   | Біліарна атрезія: 2. Інші: 2   | 3/1                           |
| 2–3 (помірний)                    | 21 (43,8)                 | 8,5±3,1                   | Біліарна атрезія: 10. Інші: 11 | 12/9                          |
| ≥4 (виражений)                    | 19 (39,6)                 | 10,8±3,5                  | Біліарна атрезія: 6. Інші: 13  | 7/12                          |
| 5–6 (циротичні зміни)             | 4 (8,3)                   | 12,0±2,8                  | Біліарна атрезія: 1. Інші: 3   | 1/3                           |

**Таблиця 2**

Частота основних морфологічних змін трансплантованої печінки в дітей залежно від первинного захворювання і типу донора

| Морфологічна зміна        | Кількість дітей, абс. (%) | Частота при біліарній атрезії (n=32), абс. (%) | Частота при інших захворюваннях (n=16), абс. (%) | Тип донора (живий/посмертний) |
|---------------------------|---------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|
| Фіброз                    | 44 (92,1)                 | 30 (93,8)                                      | 14 (87,5)                                        | 22/22                         |
| Запальні інфільтрати      | 26 (54,2)                 | 14 (43,8)                                      | 12 (75,0)                                        | 12/14                         |
| Холестаз                  | 21 (43,8)                 | 10 (31,3)                                      | 11 (68,8)                                        | 9/12                          |
| Стеатоз                   | 18 (37,5)                 | 8 (25,0)                                       | 10 (62,5)                                        | 6/12                          |
| Ураження жовчних протоків | 15 (31,3)                 | 9 (28,1)                                       | 6 (37,5)                                         | -                             |

*Примітка:* біліарну атрезію порівнювали з іншими холестатичними і метаболічними захворюваннями печінки.

Найпоширенішою зміною виявився фіброз. Середній ступінь фіброзу за шкалою Ishak становив  $3,2 \pm 1,4$  (медіана: 3; IQR: 2–4), що відповідало помірним фібротичним змінам у більшості пацієнтів. Мінімальний фіброз (0–1) спостерігався в 4 (8,3%) дітей, помірний (2–3) – у 21 (43,8%) пацієнта, виражений ( $\geq 4$ ) – у 19 (39,6%) осіб, а циротичні зміни (5–6) – у 4 (8,3%) дітей (табл. 1).

Аналіз клініко-демографічних даних засвідчив, що середній вік пацієнтів збільшувався зі зростанням ступеня фіброзу: від  $6,2 \pm 2,1$  року в пацієнтів із мінімальним фіброзом до  $12,0 \pm 2,8$  року в пацієнтів із циротичними змінами. Виражений фіброз частіше траплявся в дітей, які отримали печінку від посмертного донора, та в пацієнтів з «іншими» первинними захворюваннями печінки, ніж у дітей із біліарною атрезією.

У дослідженні проаналізовано поширеність основних морфологічних змін трансплантата печінки в дітей (табл. 2). Фіброз був найчастішою зміною і спостерігався у 44 (92,1%) пацієнтів. Запальні інфільтрати траплялися у 26 (54,2%) дітей, холестаз – у 21 (43,8%), стеатоз – у 18 (37,5%), а ураження жовчних протоків – у 15 (31,3%) пацієнтів.

Аналіз залежності морфологічних змін від первинного захворювання показав, що холестаз частіше спостерігався у пацієнтів з іншими холестатичними та метаболічними захворюваннями печінки порівняно з дітьми з біліарною атрезією (68,8% проти 31,3%;  $p=0,03$ ). Подібна тенденція відзначалася для стеатозу, який також частіше виявлявся

в цій групі та в пацієнтів, які отримали трансплантат від посмертного донора (62,5% проти 25,0%;  $p=0,01$ ).

Запальні зміни та ураження жовчних протоків траплялися в обох групах без статистично значущих відмінностей, однак у частини пацієнтів поєднувалися з більш вираженим фіброзом.

Запальні інфільтрати порталних трактів відзначалися у 26 (54,2%) дітей; у частини пацієнтів вони відповідали хронічному холестатичному гепатиту або аутоімунноподібним змінам. При цьому статистично значущого зв'язку між ступенем запалення та фіброзом не виявлено ( $p>0,05$ ).

Виражені порушення часточкової архітекτονіки з формуванням септ і псевдочасточок частіше спостерігалися в пацієнтів із вираженим фіброзом та запальними змінами, що свідчить про прогресування структурних змін у трансплантаті незалежно від стандартних лабораторних показників.

Клінічні показники функції печінки, зокрема, АЛТ, АСТ, білірубін і ГГТП, не відрізнялися статистично значуще в пацієнтів із мінімальними і вираженими морфологічними змінами ( $p>0,05$ ). Кореляційний аналіз показав слабку і недостовірну залежність між рівнем трансаміназ і ступенем фіброзу (АЛТ:  $r=0,18$ ,  $p=0,21$ ; АСТ:  $r=0,16$ ,  $p=0,27$ ), що засвідчило обмежену чутливість стандартних лабораторних тестів у виявленні субклінічних змін.

Отже, доведено, що морфологічні зміни печінкового трансплантата залежать не лише від часу після пересадки, але й від типу первинного захворювання

Таблиця 3

Лабораторні показники функції печінки залежно від ступеня фіброзу трансплантата

| Показник            | Ступінь фіброзу 0–3<br>(n=25) | Ступінь фіброзу $\geq 4$<br>(n=23) | p    | r    |
|---------------------|-------------------------------|------------------------------------|------|------|
| АЛТ, од/л           | 45 $\pm$ 12                   | 48 $\pm$ 15                        | 0,21 | 0,18 |
| АСТ, од/л           | 40 $\pm$ 10                   | 42 $\pm$ 13                        | 0,27 | 0,16 |
| Білірубін, мкмоль/л | 12,5 $\pm$ 4,2                | 13,8 $\pm$ 5,0                     | 0,18 | 0,20 |
| ГГТП, од/л          | 62 $\pm$ 18                   | 68 $\pm$ 21                        | 0,15 | 0,22 |

і характеристики донора, що має важливе значення для планування моніторингу і раннього втручання.

Зв'язок стандартних лабораторних показників функції печінки з вираженістю фіброзу в дітей після трансплантації печінки наведено в таблиці 3.

За отриманими даними, рівні АЛТ, АСТ, білірубину та ГГТП не відрізнялися статистично значуще в пацієнтів із мінімальним/помірним фіброзом і в пацієнтів із вираженим або циротичним фіброзом ( $p > 0,05$ ). Кореляційний аналіз підтвердив слабкий і недостовірний зв'язок між рівнем трансаміназ і ступенем фіброзу (АЛТ:  $r = 0,18$ ,  $p = 0,21$ ; АСТ:  $r = 0,16$ ,  $p = 0,27$ ), що засвідчило обмежену інформативність рутинних лабораторних тестів у виявленні субклінічних морфологічних змін.

Важливо зазначити, що лабораторні показники функції печінки не завжди відображають реального стану трансплантата, тому біопсія печінки залишається критично важливою для раннього встановлення діагнозу структурних змін, навіть за нормальних лабораторних показників.

## Обговорення

Трансплантація печінки в дітей значно прогресувала за останні десятиліття, що відобразилося в поліпшенні виживаності пацієнтів і тривалості функціонування трансплантата. Проте субклінічні гістопатологічні зміни трансплантованої печінки залишаються важливою проблемою, оскільки вони часто прогресують без клінічних проявів і не завжди виявляються стандартними лабораторними тестами [1,5,10]. Наведене нами дослідження довело, що у 92,1% дітей спостерігалися гістологічні зміни навіть за відсутності клінічних або біохімічних порушень.

Провідною морфологічною зміною був фіброз, середній ступінь за шкалою Ishak становив  $3,2 \pm 1,4$ , що відповідає помірним фібротичним змінам у більшості пацієнтів. Ці дані узгоджуються з результатами окремих дослідників, які описували переважно мінімальний або помірний фіброз у дітей після трансплантації, хоча тяжкі форми і циротичні зміни були рідкістю [6,9,14]. На відміну від результатів деяких досліджень, нами визначено низьку частоту

гострого клітинного відторгнення, що свідчить про ефективність сучасних схем імуносупресії та можливе уповільнення прогресування фіброзу.

Запальні інфільтрати спостерігалися в 54,2% дітей, частина з них супроводжувалася хронічним холестатичним або аутоімунopodobним гепатитом. Це відповідає світовим даним, що субклінічне запалення може тривало не проявлятися в лабораторних тестах, але спричиняти прогресування фіброзу [4,11,12]. Холестаз виявлявся в 43,8% пацієнтів, частіше в дітей із холестатичними захворюваннями, відмінними від біліарної атрезії, що відповідає спостереженням деяких дослідників [5,6,13]. Стеатоз реєструвався в 37,5% біоптатів, переважно в старших дітей і при трансплантації печінки від дорослого донора, що також узгоджується зі світовими даними про вплив віку пацієнта і характеристик донора на метаболічні зміни трансплантата [7,11,14].

Кореляційний аналіз між біохімічними маркерами (АЛТ, АСТ, білірубін, ГГТП) і морфологічними змінами показав слабку й статистично недостовірну залежність, що підтверджує дані окремих дослідників, підкреслюючи, що лабораторні тести не завжди відображають субклінічні морфологічні ураження [8,13]. Це свідчить про незамінність протокольних біопсій для раннього виявлення змін і своєчасної оптимізації імуносупресивної терапії.

Отже, результати наведеного нами дослідження підтверджують світовий досвід: субклінічні гістопатологічні зміни в дітей після трансплантації печінки є частими та різноманітними. Вони вказують на необхідність тривалого гістологічного контролю для запобігання прогресуванню фіброзу, холестаза і дисфункції трансплантата навіть за нормальних клінічних і лабораторних показників. Подальші дослідження мають бути спрямовані на виявлення молекулярних та імунологічних маркерів, що прогнозують прогресування морфологічних змін, що потенційно може зменшити потребу в повторних інвазивних біопсіях.

## Висновки

У більшості дітей після трансплантації печінки виявляються морфологічні зміни трансплантата на-

## Original articles. Abdominal surgery

віть за відсутності клінічних проявів і за нормальних лабораторних показників функції печінки. У дослідженні гістологічні зміни відзначалися у 92,1% пацієнтів, що свідчить про високу частоту субклінічного ураження трансплантата.

Найпоширенішою морфологічною зміною був фіброз трансплантованої печінки, який спостерігався в більшості пацієнтів і прогресував із віком. Виражений фіброз частіше траплявся в дітей, які отримали трансплантат від посмертного донора, а також у пацієнтів з іншими холестатичними або метаболічними захворюваннями печінки.

Стандартні лабораторні показники функції печінки (АЛТ, АСТ, білірубін, ГГТП) не виявили статистично значущого зв'язку зі ступенем фіброзу трансплантата, що свідчить про обмежену чутливість рутинних біохімічних тестів у виявленні субклінічних морфологічних змін.

Отримані результати підкреслюють важливу роль протокової біопсії печінки в довготривалому спостереженні дітей після трансплантації, що дає змогу своєчасно виявляти структурні зміни трансплантата та оптимізувати імуносупресивну терапію.

*Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.*

### References/Література

1. Evans HM, Kelly DA, McKiernan PJ et al. (2006). Progressive histological injury of liver allografts after pediatric liver transplantation. *Hepatology*. 43: 1109-1117. doi: 10.1002/hep.21179.
2. George M, Paci P, Taner T. (2020). Significance of progressive liver fibrosis in pediatric liver transplants: A review of current evidence. *World J Gastroenterol*. 26(17):1987-1992. doi: 10.3748/wjg.v26.i17.1987.
3. Guarino M, Pignat L, Di Dato F et al. (2023). Outcomes in Pediatric Liver Transplantation: A Single-Center 20-Year Experience. *Journal of Digestive Diseases and Hepatology* 10: 222. doi: 10.29011/2574-3511.100222.
4. Guo J, Sanchez-Vivaldi JA, Patel MS et al. (2024). Abnormal liver biopsies of donor grafts in pediatric liver transplantation: how do they fare? *Annals of Transplantation*. 29: e944245. doi: 10.12659/AOT.944245.
5. Junge N, Di Giorgio A, Girard M et al. (2022). Cold Ischemia Time and Graft Fibrosis Are Associated with Autoantibodies after Pediatric Liver Transplantation: A Retrospective Cohort Study of the European Reference Network TransplantChild. *Children (Basel)*. 9(2): 275. doi: 10.3390/children9020275.
6. Karbaum E, Weidemann S, Grabhorn E et al. (2023). Protocol biopsies in pediatric liver transplantation recipients improve graft histology and personalize immunosuppression. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*. 76(5): 627-633. doi: 10.1097/MPG.0000000000003703.
7. Maddur H, Wilson N, Patil P, Asrani S. (2024). Rejection in Liver Transplantation Recipients. *J Clin Exp Hepatol*. 14(4):101363. doi: 10.1016/j.jceh.2024.101363.
8. Markiewicz-Kijewska M, Szymańska S, Pyzlak M et al. (2021). Liver Histopathology in Late Protocol Biopsies after Pediatric Liver Transplantation. *Children (Basel)*. 1(8): 671. doi: 10.3390/children8080671.
9. Perito ER, Persyn E, Bucuvalas J et al. (2022). Graft fibrosis over 10 to 15 years in pediatric liver transplant recipients: multicenter study of paired, longitudinal surveillance biopsies. *Liver Transplantation*. 28(6): 1051-1062. doi: 10.1002/lt.26409.
10. Sanada Y, Matsumoto K, Urahashi T et al. (2014). Protocol biopsy of pediatric liver grafts detects medium-term allograft fibrosis. *World J Gastroenterol*. 20 (21): 6638-6650.
11. Sheikh A, Chau KY, Evans HM et al. (2018). Histological findings in protocol biopsies following pediatric liver transplant: low incidence of abnormalities at 5 years. *Pediatric Transplantation*. 22(5): e13212. doi: 10.1111/petr.13212.
12. Venturi C, Sempoux C, Bueno J et al. (2012). Novel histologic scoring system for long-term allograft fibrosis after liver transplantation in children. *Am J Transplant*. 12: 2986-2996. doi: 10.1111/j.1600-6143.2012.04169.x
13. Vij M, Rammohan A, Rela M. (2022). Long-term liver allograft fibrosis: A review with emphasis on idiopathic post-transplant hepatitis and chronic antibody mediated rejection. *World J Hepatol*. 27; 14(8): 1541-1549. doi: 10.4254/wjh.v14.i8.1541.
14. Zicheng Lv, June-Kong Yong, Yuan Liu et al. (2025). A blood-based PT-LIFE (Pediatric Liver Transplantation-Liver Fibrosis Evaluation) biomarker panel for noninvasive evaluation of pediatric liver fibrosis after liver transplantation: A prospective derivation and validation study. *Am J Transplant*. 25(3): 501-515. doi: 10.1016/j.ajt.2024.10.012.

### Відомості про авторів:

**Курило Галина Василівна** – к.мед.н., доц., асистент каф. хірургії і трансплантології ФПДО ДНП «ЛНМУ ім. Д. Галицького».

Адреса: м. Львів, вул. Пекарська, 69. <https://orcid.org/0009-0006-6586-2559>.

**П'єц Вікторія Миколаївна** – лікар-патологоанатом міського патологоанатомічного центру з гістологічною лабораторією КНП «ЛТМО «Багато-профільна клінічна лікарня інтенсивних методів лікування і швидкої медичної допомоги». Адреса: м. Львів, вул. Миколайчука, 9. <https://orcid.org/0009-0004-9083-6780>.

**Грицак Дмитро Ігорович** – дитячий хірург, трансплантолог КНП «ЛТМО «Багато-профільна клінічна лікарня інтенсивних методів лікування і швидкої медичної допомоги», ВП «Лікарня Святого Миколая». Адреса: м. Львів, вул. Миколайчука, 9. <https://orcid.org/0009-0000-9697-6163>.

Стаття надійшла до редакції 03.10.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.

УДК 616.36-006-089-053.2

О.О. Калінчук<sup>1</sup>, О.М. Кулик<sup>2</sup>, Д.В. Шевчук<sup>1,3</sup>, А.О. Дворакевич<sup>1</sup>, І.П. Міськів<sup>1</sup>

## Хірургічна тактика лікування пухлин печінки в дітей

<sup>1</sup>ВП «Лікарня Святого Миколая» КНП «Перше територіальне медичне об'єднання м. Львова», Україна

<sup>2</sup>ДНТ «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького», Україна

<sup>3</sup>Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 59-64. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).5964

**For citation:** Kalinchuk OO, Kulyk OM, Shevchuk DV, Dvorakevych AO, Miskiv IP. (2025). Surgical management strategy for liver tumors in children. Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 59-64. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).5964.

У дитячому віці пухлини печінки трапляються досить рідко. Пухлини печінки становлять трохи більше 1% усіх злоякісних новоутворень у дітей, а також близько 5–6% від новоутворень черевної порожнини. Серед пухлин черевної порожнини пухлини печінки посідають третє місце за частотою після нейробластоми і пухлини Вільмса. Третина пухлин печінки – це доброякісні пухлини, інші дві третини – злоякісні.

**Мета** – проаналізувати застосовану хірургічну тактику при пухлинах печінки в дітей.

**Матеріали і методи.** Проведено ретроспективне дослідження 25 дітей із пухлинами печінки, пролікованих у 2023–2025 рр. Спостереження за прооперованими дітьми проведено в динаміці.

**Результати.** Доброякісні пухлини становили 84%, злоякісні – 16%. Оперативні втручання виконано у 84% пацієнтів із застосуванням лапароскопічних (56%), відкритих (12%) і роботичних (16%) методик. У 44% випадків застосовано ICG-навігацію (індоціанінову флуоресценцію, ICG – Indocyanine Green). Рецидивів не виявлено, функцію печінки збережено.

**Висновки.** У структурі пухлин печінки в дітей переважають доброякісні новоутворення. Мініінвазивні методи хірургічного лікування, зокрема роботична хірургія, приводять до кращих періопераційних результатів порівняно з відкритими втручаннями в дітей із пухлинами печінки. Використання ICG-навігації підвищує точність оперативних втручань.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Отримано інформовану згоду батьків дітей.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** пухлини печінки, діти, хірургія, indocyanine green (ICG).

### Surgical management strategy for liver tumors in children

O.O. Kalinchuk<sup>1</sup>, O.M. Kulyk<sup>2</sup>, D.V. Shevchuk<sup>1,3</sup>, A.O. Dvorakevych<sup>1</sup>, I.P. Miskiv<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CC «First Lviv Territorial Medical Union» Subdivision «St. Nicholas Hospital», Ukraine

<sup>2</sup>SNPE «Danylo Halytsky Lviv National Medical University», Ukraine

<sup>3</sup>Ivan Franko Zhytomyr State University, Ukraine

In childhood, liver tumors are quite rare. Liver tumors account for slightly more than 1% of all malignant neoplasms in children. They account for about 5–6% of abdominal tumors. Among abdominal tumors, liver tumors rank third in frequency after neuroblastoma and Wilms' tumor. A third of liver tumors are benign tumors, the other two thirds are malignant.

**Aim** – to analyze the surgical tactics used for liver tumors in children.

**Materials and methods.** A retrospective study of 25 children with liver tumors who were treated in 2023–2025 was conducted. Observation of operated children is carried out in dynamics.

**Results.** Benign tumors accounted for 84%, malignant – 16%. Surgical interventions were performed in 84% of patients using laparoscopic (56%), open (12%) and robotic (16%) techniques. In 44% of cases, ICG navigation (indocyanine fluorescence, ICG – Indocyanine Green) was used. No relapses were detected, liver function was preserved.

## Original articles. Abdominal surgery

**Conclusions.** Benign neoplasms prevail in the structure of liver tumors in children. Minimally invasive surgical treatment methods, in particular robotic surgery, demonstrate better perioperative results compared to open interventions in children with liver tumors. The use of ICG navigation increases the accuracy of surgical interventions.

The study was performed in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. Informed consent of the parents was obtained. The authors declare no conflict of interest.

**Keywords:** liver tumors, children, surgery, indocyanine green (ICG).

### Вступ

Пухлини печінки в дітей є рідкісною патологією і становлять близько 5–6% новоутворень черевної порожнини [3,8,16]. За частотою вони посідають третє місце після нейробластоми та пухлини Вільмса [13].

За даними літератури, третина пухлин печінки – це доброякісні пухлини, інші дві третини – злоякісні. Пухлини печінки становлять трохи більше 1% усіх злоякісних новоутворень у дітей [11,12].

Найчастіше в групі доброякісних пухлин печінки в дітей трапляється інфантильна гемангіома (приблизно 12% усіх дитячих пухлин печінки) [1,14]. Інфантильні гемангіоми розвиваються переважно в ранньому віці і частіше діагностуються у віці приблизно 6 місяців. І тільки до 5% інфантильних гемангіом діагностуються після року [2,5,7].

Друга за поширеністю доброякісна пухлина печінки – це мезенхімальна гамартома. На неї припадає близько 8% усіх пухлин печінки. Діагноз майже завжди встановлюється в дітей віком до 5 років, при цьому частіше в хлопчиків. Рідше трапляються осередкова вузлова гіперплазія печінки та аденома печінки: перша становить 2–7% усіх пухлин печінки, друга – 2–4% [8,11,12,16].

Серед злоякісних пухлин печінки в дитячому віці найчастіше спостерігаються гепатобластома, гепатоцелюлярна карцинома і недиференційована ембріональна пухлина печінки. Гепатобластома зазвичай діагностується в дітей віком до 3 років, лише в 5% випадків – у дітей віком від 4 років. У хлопчиків гепатобластома трапляється частіше порівняно з дівчатками. Найчастіше ця пухлина розвивається в дітей із дуже низькою масою тіла на момент народження. Також існує зв'язок гепатобластоми з деякими спадковими синдромами (наприклад, із синдромами Айкарді та Беквіта–Відемана), гемігіпертрофією, сімейним аденоматозним поліпозом [11,12,16].

Гепатоцелюлярна карцинома – друга за поширеністю злоякісна пухлина печінки в дітей, яка частіше за все виникає після перенесеного гепатиту В. Тому найчастіше її діагностують у країнах, де широко поширена ця інфекція (наприклад, у країнах Південно-Східної Азії) [9,10,15].

Третя за поширеністю злоякісна пухлина печінки – недиференційована ембріональна пухлина печінки. На неї припадає 2–15% усіх пухлин печінки в дітей. Діагноз зазвичай встановлюють у дітей віком 5–10 років [13,16].

Частіше за все пухлини печінки діагностуються випадково під час планового ультразвукового дослідження (УЗД). Рідше проявляються больовим симптомом, відчуттям ущільнення або набряку в ділянці живота, збільшенням розміру живота.

Раннє встановлення діагнозу та адекватна лікувальна тактика мають вирішальне значення в поліпшенні результатів лікування.

**Мета** дослідження – проаналізувати застосовану хірургічну тактику при пухлинах печінки в дітей.

### Матеріали і методи дослідження

Проведено ретроспективне дослідження 25 пацієнтів дитячого віку з пухлинами печінки різного генезу, пролікованих у хірургічному відділенні Першого територіального об'єднання міста Львова (відокремлений підрозділ «Лікарня Святого Миколая» і відокремлений підрозділ «Лікарня Святого Пантелеймона») у період 2023–2025 рр.

Проаналізовано: вік, стать; тип пухлини; розміри новоутворення; рівень  $\alpha$ -фетопротейну; метод лікування; результати лікування.

За період спостереження та лікування з приводу пухлин печінки різного генезу перебувало 25 дітей, серед яких 6 (24%) дівчаток і 19 (76%) хлопчиків. Вік пацієнтів коливався в межах від 8 місяців до 17 років (у середньому –  $9,19 \pm 3,4$  року) (табл. 1). Серед пацієнтів переважали хлопчики – 76%.

Застосовано клінічні, лабораторні, інструментальні (ультразвукове дослідження (УЗД), комп'ютерну (КТ) і магнітно-резонансну (МРТ) томографію), а також морфологічні методи дослідження.

**Таблиця 1**

Характеристика пацієнтів

| Показник            | Значення             |
|---------------------|----------------------|
| Кількість пацієнтів | 25 (100%)            |
| Хлопчики            | 19 (76%)             |
| Дівчатка            | 6 (24%)              |
| Вік                 | 8 місяців – 17 років |
| Середній вік        | $9,19 \pm 3,4$ року  |

Таблиця 2

Структура пухлин

| Тип пухлини       | Кількість |     |
|-------------------|-----------|-----|
|                   | абс.      | %   |
| Кіста печінки     | 6         | 24  |
| Гемангіома        | 6         | 24  |
| Аденома           | 6         | 24  |
| Фіброма           | 3         | 12  |
| Злоякісна пухлина | 4         | 16  |
| Усього            | 25        | 100 |

Для оцінювання ефективності різних підходів до хірургічного лікування пухлин печінки в дітей проаналізовано такі показники: тривалість операції; об'єм інтраопераційної крововтрати; тривалість госпіталізації; частота післяопераційних ускладнень; потреба в аналгезії; час до повної активізації пацієнта.

Статистичну обробку даних проведено із застосуванням стандартних методів описової статистики. Кількісні показники наведено у вигляді середнього значення  $\pm$  стандартне відхилення ( $M \pm SD$ ). Для порівняння груп (лапароскопічна, роботична та відкрита хірургія) застосовано критерій Краскела–Волліса для непараметричних даних і точний критерій Фішера для категоріальних змінних. Статистично значущими прийнято відмінності за  $p < 0,05$ .

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Отримано інформовану згоду батьків дітей.

## Результати дослідження та їх обговорення

У більшості випадків новоутворення діагностовано випадково (під час планового УЗД).

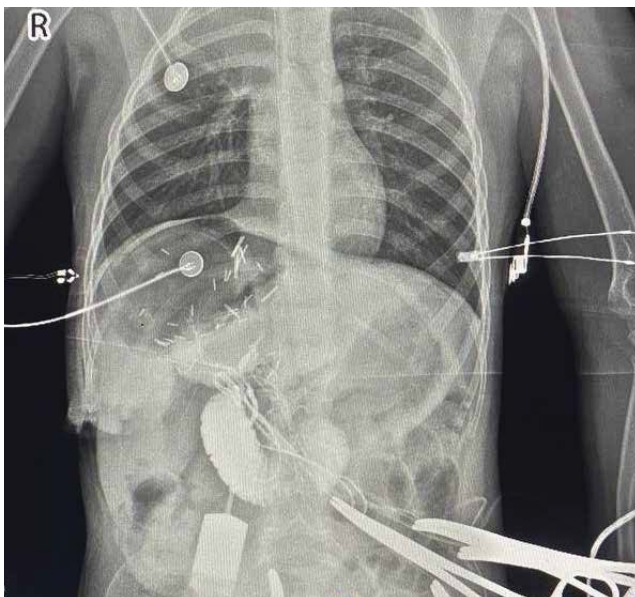


Рис. 1. Прямая інтеропераційна холангіографія

Таблиця 3

Методи лікування

| Метод лікування             | Кількість |     |
|-----------------------------|-----------|-----|
|                             | абс.      | %   |
| Лапароскопічна операція     | 14        | 56  |
| Роботична хірургія          | 4         | 16  |
| Відкрита операція           | 3         | 12  |
| Консервативне спостереження | 4         | 16  |
| Усього                      | 25        | 100 |

Доброякісні пухлини виявлено у 21 (84%) випадку, злоякісні – у 4 (16%) пацієнтів. Серед доброякісних пухлин кісту печінки встановлено в 6 (24%) дітей (3 – паразитарні), гемангіому печінки – у 6 (24%) дітей, аденому печінки – у 6 (24%) дітей, фіброму печінки – у 3 (12%) дитини. Серед злоякісних пухлин гепатоцелюлярну карциному відзначено у 2 (8%) дітей, саркому – в 1 (4%) дитини, гепатобласту – в 1 (4%) дитини. Структуру пухлин наведено в таблиці 2.

За даними таблиці 2, у структурі пухлин переважали доброякісні новоутворення. Отримані дані, на обмеженій кількості випадків, не збігаються з даними літературних джерел про переважання саме злоякісних новоутворень у дітей [8,11,12,16].

Діти з пухлинами низького рівня за малігнізацією (непаразитарними кістами, гемангіомами печінки), якщо розмір пухлини був 3–5 см, перебували під спостереженням (4 (16%) дитини). Контрольне УЗД проводили 1 раз на 6 місяців.

Дітям із паразитарними кістами печінки призначали альбендазол (2–3 курси по 28 днів із перервою

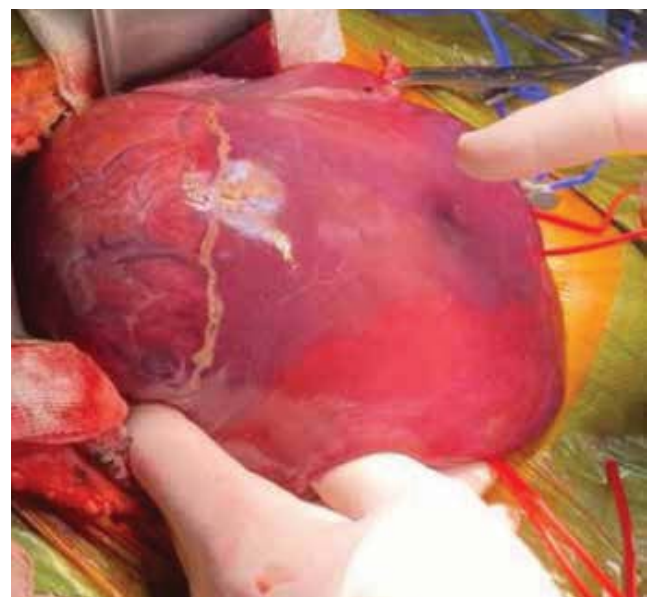


Рис. 2. Аденома печінки

# Original articles. Abdominal surgery

**Таблиця 4**

Порівняльна характеристика результатів хірургічного лікування

| Показник                              | Лапароскопія (n=14) | Роботична хірургія (n=4) | Відкрита операція (n=3) | p    |
|---------------------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|------|
| Тривалість операції, хв               | 95±20               | 130±25                   | 110±30                  | 0,08 |
| Крововтрата, мл                       | 50±20               | 30±10                    | 150±50                  | 0,01 |
| Тривалість госпіталізації, дів        | 5±1,2               | 4±1                      | 9±2                     | 0,02 |
| Післяопераційні ускладнення, абс. (%) | 1 (7)               | 0 (0)                    | 1 (33)                  | 0,18 |
| Тривалість аналгезії, дів             | 2–3                 | 1–2                      | 4–5                     | 0,03 |
| Час до активації, дів                 | 1–2                 | 1                        | 3–4                     | 0,03 |

28 дів), пізніше – оперативне втручання – резекцію в межах здорових тканин (2 (8%) пацієнти) або фенестрацію, хімічну абляцію, ехінококтомію (1 (4%) дитина). У зв'язку зі збільшенням розмірів непаразитарних кіст прооперували 3 (12%) дітей.

Дітям із підозрою на пухлини високого рівня малигнізації (аденома, фіброма печінки) проводили біопсію пухлини черезшкірно під контролем УЗД чи КТ-навігації або лапароскопічно. Якщо за результатами біопсії пухлина мала високий потенціал до малигнізації (прогресуючий ріст), то проводили паренхіматознозберігаюче оперативне втручання з метою видалення пухлини в межах здорових тканин.

При злоякісних новоутвореннях визначали, чи пухлина є радикально операбельною. При операбельних пухлинах проводили анатомічно-резекційну операцію (2 (8%) дитини), а при неоперабельних – хіміотерапію до зменшення пухлини (2 (8%) дитини), оперативне видалення.

Оперативні втручання проводили з паренхімозбереженням органа лапаротомним (3 (12%) дитини), лапароскопічним (14 (56%) дітей) або роботичним (4 (16%) дитини) методами. 11 (44%) дітям у процесі оперативного втручання виконали ICG (індоціанінову флуоресценцію, ICG – Indocyanine Green) про-

цедура. ICG-процедура – це медична методика, яка передбачає застосування флуоресцентного барвника індоціаніну зеленого для візуалізації кровообігу, лімфатичних шляхів або тканин під час хірургічного втручання або діагностування [6,12].

Методи лікування наведено в таблиці 3.

Оперативні втручання виконано 21 (84%) пацієнтами, переважно мініінвазивні методи (лапароскопію – 56%, роботичну – 16%).

Порівняльну характеристику результатів хірургічного лікування наведено в таблиці 4.

Отримані дані свідчать, що саме роботична хірургія характеризується найменшою інтраопераційною крововтратою, найкоротшою тривалістю госпіталізації, найшвидшим післяопераційним відновленням. Лапароскопічні втручання характеризуються оптимальною тривалістю операції, низькою частотою ускладнень, сприятливим перебігом післяопераційного періоду. Відкрита хірургія асоціюється з достовірно більшою крововтратою ( $p=0,01$ ), тривалішою госпіталізацією ( $p=0,02$ ) і пізнішою активацією пацієнтів ( $p=0,03$ ).

Статистично значущої різниці щодо тривалості операції не виявлено ( $p=0,08$ ), що, імовірно, пов'язано з невеликою вибіркою.



**Рис. 3.** Фрагмент роботичної резекції п'ятигодинного сегмента печінки



**Рис. 4.** Фінальний етап роботичної резекції печінки

Нижче наведено приклад проведення прямої інтраопераційної холангіографії (рис. 1).

Вигляд пухлини (аденома печінки) інтраопераційно показано на рисунку 2.

Результати дослідження вказують на переваги мініінвазивних методів хірургічного лікування порівняно з відкритими втручаннями в дітей із пухлинами печінки. Лапароскопічні та роботичні операції супроводжуються меншою операційною травматичністю, нижчим рівнем крововтрати і швидшим відновленням пацієнтів.

Найкращі періопераційні результати отримано в разі застосування роботичної хірургії (рис. 3–6), що можна пояснити кращою візуалізацією операційного поля, усуненням тремору і високою точністю маніпуляцій. Це особливо важливо в дитячій хірургії, де критичним є максимальне збереження паренхіми органа.

Незважаючи на дещо довшу тривалість роботичних операцій, статистично значущої різниці не виявлено, що може бути пов'язано з етапом освоєння технології (learning curve).

Більший об'єм крововтрати і триваліша госпіталізація після відкритих втручань узгоджуються з даними сучасної літератури і підтверджують більшу інвазивність цього методу.

Водночас хірургічну тактику слід обирати індивідуально, враховуючи розмір пухлини, її локалізацію, залучення судинних структур і досвід хірургічної команди.

Спостереження за прооперованими дітьми проводиться в динаміці. Їхній стан позитивний, рецидиви не виявлені, функція печінки збережена. 4 (16%) неоперовані дитини перебувають під спостереженням (ріст новоутворень на цей час не прогресує).

Отримані результати свідчать про ефективність індивідуалізованого підходу до лікування пухлин печінки в дітей.

Відмінність структури пухлин від літературних даних може бути пов'язана з особливостями вибірки та раннім встановленням діагнозу.

Застосування мініінвазивних технологій та ICG-навігації дає змогу підвищити точність оперативних втручань і поліпшити результати лікування.

## Висновки

У структурі пухлин печінки в дітей, що перебували на лікуванні у відділенні Першого територіального об'єднання міста Львова, переважають доброякісні новоутворення.

Мініінвазивні методи хірургічного лікування, зокрема роботична хірургія, приводять до кращих

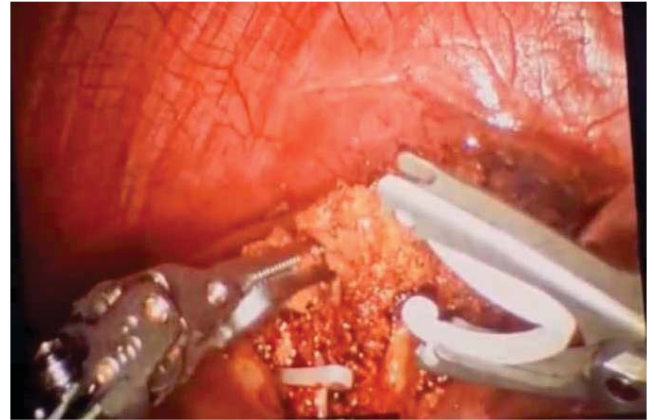


Рис. 5. Етап роботичної резекції печінки. Кліпуння жовчних шляхів



Рис. 6. Завершальний етап роботичної резекції печінки

періопераційних результатів порівняно з відкритими втручаннями в дітей із пухлинами печінки.

Застосування ICG-навігації підвищує точність оперативного втручання.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

## References/Література

1. Benzar I, Poluliakh OK. (2014). Assessment of clinical activity and effectiveness of treatment of infantile hemangiomas using ultrasound scanning. *Neonatology, Surgery and Perinatal Medicine*. 3 (13); IV: 86-91. [Бензар І, Полулях ОК. (2014). Оцінка клінічної активності та ефективності лікування інфантильних гемангіом з допомогою ультразвукового сканування. *Неонатологія, хірургія та перинатальна медицина*. 3 (13); IV: 86-91].
2. Benzar IM, Zhumick DV. (2019). Hepatic Hemangiomas in Children: Potential Risks and Principles of Treatment. *Paediatric Surgery. Ukraine*. 1(62): 31-36. [Бензар ІМ, Жумик ДВ. (2019). Гемангіоми печінки у дітей: потенційні ризики та принципи лікування. *Хірургія дитячого віку*. 1(62): 31-36]. doi: 10.15574/PS.2019.62.31].
3. Bernts LHP, Echternach SG, Kiewit V, Rosman K, Drent JFH. (2019). Clinical response after laparoscopic fenestration of symptomatic liver cysts: a systematic review and meta-analysis. *Surgical Endoscopy*. 33(3): 691-704.

## Original articles. Abdominal surgery

4. Frenette C, Mendiratta-Lala M, Saljia R, Wong RJ, Sauer BG, Pillai A. (2024, Jul 1). ACG Clinical Guidelines: Focal Liver Lesions, American Journal of Gastroenterology. 119(7): 1235-1271. Epub 2024 Jan 26. doi: 10.14309/ajg.0000000000002857. PMID: 38958301.
5. Gnarr M, Behr G, Kitajewski A, Wu JK, Anupindi SA, Shawber CJ et al. (2016). History of the infantile hepatic hemangioma: From imaging to generating a differential diagnosis. World J Clin Pediatr. 8; 5(3): 273-280.
6. Harada K, Fujikawa T, Uemoto Y. (2025 Jan-Dec). Usefulness of indocyanine green fluorescence-guided surgery for simultaneous laparoscopic fenestration of liver cysts and cholecystectomy. Asian Journal of Endocrine Surgery. 18(1): e70120. doi: 10.1111/ases.70120. PMID: 40635336.
7. Iacobas I, Phung TL, Adams DM, Trenor CC 3rd, Blei F, Fishman DS et al. (2018). Guidance Document for Hepatic Hemangioma (Infantile and Congenital) Evaluation and Monitoring. J Pediatr. 203: 294-300.
8. Ian D, Agata D, Williams F, Balistreri D. (2001). Evaluation of Liver Diseases in the Pediatric Patient. Pediatric in Review. 20,(11): 376-389.
9. Khanna R, Verma SK. (2018). Pediatric hepatocellular carcinoma. World J Gastroenterol. 24: 3980-3999. doi: 10.3748/wjg.v24.i35.3980.
10. McGlynn KA, Petrick JL, London WT. (2015). Global epidemiology of hepatocellular carcinoma: an emphasis on demograph-ic and regional variability. Clin Liver Dis. 19: 223-238. doi: 10.1016/j.cld.2015.01.001.
11. Meyers RL. (2017). Tumors of the liver in children. Surg Oncol. 16(3): 195-203. doi: 10.1016/j.suronc.2007.07.002.
12. Ng K, Mogul DB. (2018). Pediatric Liver Tumors. Clin Liver Dis. 22: 753-772. doi: 10.1016/j.cld.2018.06.008.
13. Pfeifferberger J, Mogler C, Gotthardt DN, Schulze-Bergkamen H, Litwin T, Reuner U et al. (2015). Hepatobiliary malignancies in Wilson disease. Liver Int. 35: 1615-1622. doi: 10.1111/liv.12727.
14. Pohorilyi VV, Kotenko OH, Konoplytskyi VS, Dmytriiev DV, Kalinchuk OO, Konoplytskyi DV. (2015). Personal experience of curation of children with vascular tumors of the liver. Modern Gastroenterology. 1(81): 91-95. [Погорілий ВВ, Котенко ОО, Коноплицький ВС, Дмитрієв ДВ, Калінчук ОО, Коноплицький ДВ. (2015). Власний досвід курації дітей із судинними пухлинами печінки. Сучасна гастроентерологія. 1(81).
15. Schmid I, von Schweinitz D. (2017). Pediatric hepatocellular carcinoma: challenges and solutions. J Hepatocell Carcinoma. 4: 15-21. doi: 10.2147/JHC.S94008.
16. Zimmermann A. (2018). Liver Tumors of Childhood. In: Romil Saxena editor. Practical Hepatology Pathology: A Diagnostic Approach. 2nd ed. Philadelphia PE: 555-582.

### Відомості про авторів:

**Калінчук Олександр Олександрович** – мед. директор ВП «Лікарня Святого Миколая». Адреса: м. Львів, вул. П. Орлика, 4. <https://orcid.org/0000-0002-1918-0035>.

**Кулик Олена Миколаївна** – д.мед.н., проф. каф. дитячої хірургії ДНП «ЛНМУ ім. Д. Галицького». Адреса: м. Львів, вул. Пекарська, 69. <https://orcid.org/0000-0001-7639-6871>.

**Шевчук Дмитро Володимирович** – к.мед.н., доц., зав. відділення урології ВП «Лікарня Святого Миколая». Адреса: м. Львів вул. П. Орлика, 4. <https://orcid.org/0000-0002-3466-3430>.

**Дворакевич Андрій Орестович** – к.мед.н., керівник центру хірургії, заст. мед. директора з хірургічної роботи ВП «Лікарня Святого Миколая». Адреса: м. Львів вул. П. Орлика, 4. <https://orcid.org/0000-0003-1509-8525>.

**Міськів Іван Петрович** – директор ВП «Лікарня Святого Миколая». Адреса: м. Львів, вул. Пулипа Орлика 4. <https://orcid.org/0000-0001-7979-6117>.

Стаття надійшла до редакції 19.08.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.

УДК 616.34-002.2-089-053.2

М.І. Чаварга<sup>1,2</sup>, С.Ф. Гербут<sup>2</sup>, Я.С. Шпряха<sup>1</sup>, О.І. Тегза<sup>2</sup>, Н.Й. Стан<sup>2</sup>

## Досвід застосування лапароскопії в хірургічному лікуванні гострого апендициту в дітей

<sup>1</sup>ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна

<sup>2</sup>КНП «Ужгородська міська багатoproфільна клінічна лікарня» Ужгородської міської ради, Україна

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 65–75. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).6575

**For citation:** Chavarha MI, Gerbut SF, Spryakha YaS, Tehza OI, Stan NJ. (2025). Experience with laparoscopy in the surgical treatment of acute appendicitis in children. Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 65–75. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).6575.

Гострий апендицит (ГА) є найпоширенішою причиною невідкладних хірургічних втручань у дітей. Лапароскопічна апендектомія (ЛА) поступово стала методом першого вибору завдяки її ефективності й мінімізації післяопераційного періоду.

**Мета** – проаналізувати техніку виконання, переваги і показання до ЛА, клінічні результати, ефективність, безпечність, ускладнення і післяопераційне відновлення пацієнтів після хірургічного лікування ГА в дітей.

**Матеріали і методи.** Проаналізовано медичні карти стаціонарних хворих, протоколи операцій, результати гістологічного дослідження, динаміку перебігу післяопераційного періоду 699 пацієнтів із ГА, яким загалом виконано 701 оперативне втручання, з яких ЛА проведено 600 (85,6%) пацієнтам, конверсію – 18 (2,6%), відкриту апендектомію (ВА) – 81 (11,6%), релапаротомію – 2 (0,3%) хворим.

**Результати.** Застосування ЛА дало змогу поступово замінити ВА в понад 91% випадків ГА, а конверсії становили 0–4,8% через деструктивні форми й анатомічні аномалії. За час відпрацювання методики ЛА середній час операції скоротився з 67,8 до 37,4 хв, а післяопераційне лікування – з 4,3 до 2,1 доби. Деструктивні форми ГА становили 83,2% випадків, перитоніт – 19,5% (з яких 58,0% ліковано ЛА). Інтраопераційні ускладнення при ЛА (11,2%) переважно включали травми сальника. Найчастішим раннім післяопераційним ускладненням при ЛА був френікус-симптом, а релапаротомію проводили в 0,3% випадків. Усіх пацієнтів виписали з одужанням.

**Висновки.** У хірургічному лікуванні ГА в дітей ЛА стала засобом першочергового вибору, яку виконали в понад 91% випадків, що дало змогу скоротити час операції і тривалість післяопераційної реабілітації порівняно з ВА.

Виважене лапароскопічне оцінювання конкретної інтраопераційної ситуації допомагає обґрунтовано прийняти рішення про перехід на конверсію, а це запобігає виникненню критичних для пацієнта ускладнень як під час, так і після операції.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. На проведення досліджень отримано інформовану згоду батьків дітей.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** гострий апендицит, лапароскопічна апендектомія, діти, ускладнення, конверсія, перитоніт, дренування.

### Experience with laparoscopy in the surgical treatment of acute appendicitis in children

M.I. Chavarha<sup>1,2</sup>, S.F. Gerbut<sup>2</sup>, Ya.S. Spryakha<sup>1</sup>, O.I. Tehza<sup>2</sup>, N.J. Stan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Uzhhorod National University, Ukraine

<sup>2</sup>Uzhhorod City Multidisciplinary Clinical Hospital, Ukraine

Acute appendicitis (AA) is the most common cause of emergency surgical interventions in children. Laparoscopic appendectomy (LA) has gradually become the first-choice method due to its effectiveness and the minimized postoperative period.

**Aim** – to analyze the surgical technique, advantages, and indications for LA, clinical outcomes, efficacy, safety, complications, and postoperative recovery in the surgical treatment of AA in children.

## Original articles. Abdominal surgery

**Materials and methods.** Medical records of inpatients, surgical protocols, histological examination results, and postoperative course dynamics were analyzed in 699 pediatric patients with AA who underwent a total of 701 surgical interventions. Of these, 600 (85.6%) were laparoscopic appendectomies (LA), 18 (2.6%) were conversions, 81 (11.6%) were open appendectomies (OA), and 2 (0.3%) were relaparotomies.

**Results.** The use of LA made it possible to gradually replace OA in over 91% of AA cases, while conversion rates ranged from 0 to 4.8% due to destructive forms and anatomical anomalies. Over the course of refining the LA technique, the average operation time decreased from 67.8 to 37.4 minutes, and postoperative treatment duration was reduced from 4.3 to 2.1 days. Destructive forms of AA accounted for 83.2% of cases, and peritonitis was present in 19.5% (58.0% of which were treated with LA). Intraoperative complications during LA (11.2%) mainly included omental injuries. The most common early postoperative complication following LA was the presence of the phrenicus symptom, and relaparotomy was performed in 0.3% of cases. Abdominal cavity drainage was performed in 5.7% of operations. All patients were discharged in a recovered state.

**Conclusions.** LA has become the first-line method for surgical treatment of AA in children, performed in over 91% of cases, leading to reduced operation time and shorter postoperative recovery compared to OA. A well-considered laparoscopic assessment of the specific intraoperative situation allows for a justified decision to convert, thereby preventing critical complications during and after surgery.

The study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. Informed consent was obtained from the children's parents.

The authors declare no conflict of interest.

**Keywords:** acute appendicitis, laparoscopic appendectomy, children, complications, conversion, peritonitis, drainage.

## Вступ

Гострий апендицит (ГА) до сьогодні залишається найпоширенішою причиною застосування ургентної дитячої хірургії, що потребує негайного вирішення питань щодо його лікування. Незважаючи на сучасні досягнення в медицині, хірургічне втручання залишається основним методом, оскільки історично відкритий підхід дає змогу оперативно ліквідувати запальний процес і радикально знижує рівень смертності при ГА [13,14,16]. У літературі також широко обговорюється консервативний підхід, що базується на застосуванні антибіотикотерапії в комплексі з ретельним клінічним спостереженням. Цей метод може бути доцільним на ранніх стадіях, коли запальний процес ще не набув критичної інтенсивності та немає ознак перфорації. Проте ризик рецидиву і можливість переходу хвороби в хронічну форму обмежують застосування консервативного лікування, що зумовлює подальшу потребу в оперативному втручанні. Більшість дослідників дійшли висновку, що операційне лікування, незважаючи на інвазивність, залишається «золотим» стандартом завдяки радикальному усуненню джерела запалення і зниженню ризику довгострокових ускладнень [12].

Якісним проривом у лікуванні ГА стало ендоскопічне втручання. Сьогодні лапароскопічна апендектомія (ЛА) є найпоширенішим методом лікування ГА в дітей, адже мінімальна інвазивність цього підходу скорочує час госпіталізації, зменшує травматичність і значно поліпшує косметичний результат [1,7,10,14,16,17]. Сучасні технічні інновації, зокрема, застосування прямого троакарного доступу, значно підвищили ефективність операцій, що згодом стимулювало розвиток однопортової апен-

дектомії (SILA – Single Incision Laparoscopic Appendectomy). Однак, за деякими даними, косметичний ефект SILA не завжди задовільний через можливу деформацію ділянки пупка [7].

Продовженням еволюції мініінвазивної хірургії є роботизовані системи, які поступово впроваджуються в практику. Завдяки їм зменшується кількість інтраопераційних ускладнень і підвищується точність маніпуляцій, проте підготовка до операції (докінг) і від'єднання обладнання після її завершення (аддокінг) потребує багато часу. Однак висока початкова вартість обладнання ставить під сумнів економічну доцільність цього підходу [4,9]. Ще одним перспективним способом лікування та, імовірно, найкращим із погляду досягнення косметичного ефекту є метод ERAT (Endoscopic Retrograde Appendicitis Therapy) – ендоскопічна технологія, яка передбачає колоноскопичне дренування просвіту червоподібного відростка [21].

Сучасна стратегія лікування ГА в дітей вимагає тісної мультидисциплінарної співпраці між хірургами, анестезіологами, радіологами та іншими фахівцями, що дає змогу враховувати індивідуальні клінічні особливості кожного пацієнта. Вибір методу лікування залежить від багатьох чинників: віку дитини, тяжкості клінічної картини, наявності ускладнень і можливостей медичного закладу. Дослідження свідчать, що застосування сучасних анестезіологічних протоколів і оптимізація передопераційної підготовки, зокрема, забезпечення спорожнення сечового міхура перед операцією, суттєво поліпшують лікувальні результати [2,5].

Незважаючи на очевидні переваги ЛА, цей метод має певні обмеження. Для його проведення необхідне спеціалізоване обладнання і висококваліфікова-

Таблиця 1

Кількість виконаних оперативних втручань, абс. (%)

| Вид втручання | 2019 р.   | 2020 р.    | 2021 р.    | 2022 р.    | 2023 р.    | 2024-2025 рр. | Усього     |
|---------------|-----------|------------|------------|------------|------------|---------------|------------|
| ЛА            | 74 (53,6) | 116 (91,3) | 115 (91,2) | 102 (95,3) | 107 (96,4) | 86 (93,5)     | 600 (85,6) |
| Конверсія     | 3 (2,2)   | 1 (0,8)    | 6 (4,8)    | 4 (3,8)    | -          | 4 (4,3)       | 18 (2,6)   |
| ВА            | 61 (44,2) | 10 (7,9)   | 4 (3,2)    | 1 (0,9)    | 4 (3,6)    | 1 (1,1)       | 81 (11,6)  |
| Релапаротомія | -         | -          | 1 (0,8)    | -          | -          | 1 (1,1)       | 2 (0,3)    |
| Усі разом     | 138 (100) | 127 (100)  | 126 (100)  | 107 (100)  | 111 (100)  | 92 (100)      | 701 (100)  |

ний персонал, що не завжди доступно в невеликих установах або регіонах з обмеженими ресурсами. Особливим викликом стає виконання ЛА в маленьких дітей і немовлят через обмежений простір черевної порожнини, що створює додаткові труднощі для хірурга. Саме тому в складних клінічних ситуаціях – при перфорації апендикса, генералізованому перитоніті або формуванні абсцесу – традиційна відкрита апендектомія (ВА) залишається надійним методом, забезпечуючи прямий огляд і ретельне очищення черевної порожнини [3,6–8,11,15,19]. Хоча ЛА асоціюється з меншим ризиком ускладнень, окремі проблеми (наприклад, тазові абсцеси або френікус-симптом) виникають у 3–5% випадків і потребують своєчасного встановлення діагнозу та відповідної терапії, зокрема, адекватної санації черевної порожнини і дренування [18,20]. Крім того, у випадках розлитого перитоніту або ретроперитонеального розташування червоподібного відростка конверсія до відкритої операції може становити 5–7% випадків. Саме тому своєчасне рішення про перехід до відкритого доступу є вкрай важливим для зниження ризику виникнення критичних ускладнень [6,8].

Отже, вибір методу лікування ГА визначається віком дитини, клінічною картиною, наявністю ускладнень і можливостями медичного закладу. Літературні дані свідчать про високу ефективність лапароскопії при неускладнених формах захворювання завдяки мінімальній інвазивності, скороченню післяопераційного болю і швидкому поверненню до звичного ритму життя [17]. У випадках тяжких форм захворювання, коли слід забезпечити максимальний контроль за хірургічним процесом, відкритий підхід залишається виправданим [14,16]. Тому є доцільними подальші дослідження, спрямовані на вдосконалення стандартів лікування ускладненого апендициту і розроблення нових інструментів для підвищення ефективності ЛА, що, своєю чергою, дасть змогу знизити ризик ускладнень і поліпшити результати лікування [1].

**Мета** дослідження – проаналізувати техніку виконання, переваги і показання до застосування

ЛА, клінічні результати, ефективність, безпечність, ускладнення і післяопераційне відновлення пацієнтів після хірургічного лікування ГА в дітей.

### Матеріали і методи дослідження

Проведено ретроспективний аналіз результатів хірургічного лікування ГА, виконаного у відділенні дитячої хірургії КНП «Ужгородська міська багато-профільна клінічна лікарня» Ужгородської міської ради, що є клінічною базою курсу дитячої хірургії медичного факультету ДВНЗ «Ужгородський національний університет», за період 2019–2025 рр. (з 13.02.2019, коли виконано першу ЛА на базі відділення, по 12.02.2025). За вказаний період прооперовано 699 пацієнтів із ГА віком від 3 років 4 місяців до 17 років 11 місяців (середній вік – 11,15 року), яким виконано 701 хірургічне втручання. Серед них було 430 (61,5%) хлопчиків і 269 (38,5%) дівчаток.

Критерії вилучення: пацієнти, яким проведено діагностичну лапароскопію та заперечено ГА, або хворі, проліковані консервативно.

Дані отримано на основі аналізу записів у медичній документації і власних спостережень.

Вивчено і проаналізовано медичні карти стаціонарних хворих, протоколи хірургічних операцій з оцінюванням вираженості запального процесу в черевній порожнині та її анатомічні особливості в пацієнтів, результати гістологічного дослідження видалених анатомічних структур, динаміку перебігу післяопераційного періоду в пацієнтів.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол дослідження ухвалено локальним етичним комітетом усіх зазначених у роботі установ. На проведення досліджень отримано інформовану згоду батьків дітей.

### Результати дослідження та їх обговорення

Усіх пацієнтів госпіталізували в ургентному порядку, показаннями до операції вважали клінічну картину ГА (загальні і місцеві симптоми), лейкоцитоз, дані ультрасонографічного обстеження. У сумнівних випадках застосовували динамічне спостере-

## Original articles. Abdominal surgery

Таблиця 2

Патоморфологічні форми гострого апендициту, абс. (%)

| Патоморфологічна форма апендициту      | 2019 р.   | 2020 р.   | 2021 р.   | 2022 р.   | 2023 р.   | 2024–2025 рр. | Усього     |
|----------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|------------|
| Катаральний, катарально-виразковий     | 46 (33,3) | 12 (9,4)  | 22 (17,6) | 25 (23,4) | 12 (10,8) | 6 (6,6)       | 123 (17,6) |
| Флегмонозний, флегмонозно-виразковий   | 64 (46,4) | 73 (57,5) | 78 (62,4) | 67 (62,6) | 74 (66,7) | 63 (69,2)     | 419 (59,9) |
| Гангренозний, флегмонозно-гангренозний | 28 (20,3) | 42 (33,1) | 25 (20,0) | 15 (14,0) | 25 (22,5) | 21 (23,1)     | 156 (22,3) |
| Хронічний облітеруючий апендицит       | -         | -         | -         | -         | -         | 1 (1,1)       | 1 (0,2)    |
| Усі форми                              | 138 (100) | 127 (100) | 125 (100) | 107 (100) | 111 (100) | 91 (100)      | 699 (100)  |

ження, дівчаток пубертатного віку додатково консультував гінеколог.

Лапароскопічну апендектомію виконали 600 (85,6%) пацієнтам, конверсію після лапароскопії – 18 (2,6%) дітям, ВА – 81 (11,6%) хворому, релaparотомію після ЛА – 2 (0,3%) пацієнтам (табл. 1).

Усі діагнози підтверджені гістологічно, з них 123 (17,6%) – катарально-виразкові, 419 (59,9%) – флегмонозні, флегмонозно-виразкові, 156 (22,3%) – гангренозні, флегмонозно-гангренозні, 1 (0,2%) – хронічний облітеруючий апендицит (табл. 2).

Лапароскопічну апендектомію виконали з використанням трьох портів. Спочатку безпосередньо над пупком зробили дугоподібний розріз шкіри довжиною 6–7 мм, далі, після попереднього формування затискачем Пеана «тунелю» у підшкірній клітковині до апоневрозу та взяття пупка двома цапками Бакауга на «трималки» з подальшим підніманням передньої черевної стінки, виконали пункцію голкою Вереша з наступним накладанням карбоксиперитонеума зі швидкістю подачі потоку 1,2 л/хв до отримання тиску 12–13 мм рт. ст. Після досягнення в черевній порожнині тиску 5–7 мм рт. ст. швидкість потоку підвищили до 5,6 л/хв, що дало змогу оперувати надалі без падіння тиску.

В одному з випадків для попередження травмування внутрішніх органів через можливий спайковий процес наклали карбоксиперитонеум доступом безпосередньо ліворуч від пупка через те, що за два роки до апендектомії хворому виконали лапароскопічне пересічення лівої гонадної вени з приводу варикоцеле. При цьому застосували пробу зі всмоктуванням краплі фізіологічного розчину з канюлі голки Вереша. Утім останнім часом надаємо перевагу прямому троакарному доступу над пупком шляхом безпосереднього введення порту 5,5 мм без попереднього введення голки Вереша (останні 256 операцій виконали саме таким чином).

Черевну порожнину оглянули за допомогою 5 мм лапароскопа зі скошеною оптикою 30° у такій послідовності: спочатку обстежили ділянку передбачуваної локалізації запального процесу, а потім – правий латеральний канал, підпечінковий простір, ділянку малого таза, ліві відділи живота знизу догори аж до селезінки, а наприкінці – її центральну частину в проекції введення першого троакара для виявлення можливих пошкоджень сальника, кишки тощо. Другий порт 10 мм ввели вже під візуальним контролем. Для цього якомога нижче над лоном безпосередньо ліворуч від серединної лінії зробили поперечний розріз шкіри до 12–13 мм, причому напрямок введення троакара – вгору праворуч. У 5 пацієнтів віком до 5 років над лоном використали порт 5,5 мм. Третій порт 5,5 мм наклали крізь ліву бокову стінку зазвичай дещо нижче рівня пупка. Під час розрізів черевну стінку «підсвітили» зсередини лапароскопом, щоб візуалізувати судини черевної стінки і таким чином уникнути їхнього пошкодження. Перед розрізом шкіри в місці передбачуваного введення порту натиснули пальцем на передню черевну стінку, візуалізуючи лапароскопом зсередини, щоби переконалися в наявності достатнього вільного місця для перфорування черевної стінки, аби попередити пошкодження внутрішніх органів.

Завдяки введеним у черевну порожнину інструментам мали змогу провести адекватну її ревізію. У випадку ж невідповідності виявлених запальних змін клінічній картині проводили поглиблену ревізію черевної порожнини, додатково оглядаючи дистальні відділи клубової кишки щодо можливої наявності дивертикула Меккеля, а в дівчаток ще звертали увагу на придатки матки.

Апендектомія зазвичай потребує певного нахилу пацієнта на лівий бік для поліпшення візуалізації зони операції (якщо ж стіл не нахилиється, то перед операцією підкладають валик під правий бік хворого). Також інколи доцільно надати пацієнтові пози-

Таблиця 3

Кількість виконаних резекцій великого сальника

| Вид втручання | 2019 р. | 2020 р. | 2021 р. | 2022 р. | 2023 р. | 2024–2025 рр. | Усього |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------|--------|
| ЛА            | 2       | 1       | 4       | -       | 5       | 3             | 15     |
| Конверсія     | 3       | 1       | 1       | 1       | -       | -             | 6      |
| ВА            | 4       | 2       | 1       | -       | 1       | 1             | 9      |
| Релапаротомія | -       | -       | 1       | -       | -       | -             | 1      |
| Усі види      | 9       | 4       | 7       | 1       | 6       | 4             | 31     |

ції Тренделенбурга, особливо при тазовій локалізації запального процесу.

Після ревізії черевної порожнини і виявлення локалізації патологічного осередка виконали мобілізацію червоподібного відростка шляхом коагуляції його брижі. Для цього, проходячи безпосередньо по краю відростка, застосували методику «стягування» брижі біполярним дисектором. Маніпуляцію провели виключно з використанням біполярної діатермокоагуляції в режимі «загальна хірургія» або «лапароскопічна холецистектомія», переважно одночасно з коагуляцією. Це дало змогу мінімізувати потребу в заміні інструмента (дисектора на ножиці і навпаки). Спочатку під час мобілізації використали біполярні ножиці, однак незабаром помітили, що цей інструмент дуже швидко затупляється під час одночасних коагуляції та розрізання, тому надалі від такої практики відмовилися. При цьому таке обережне «стягування» брижі з відростка біполярним дисектором з одночасною її коагуляцією дало змогу виконати мобілізацію, практично не залишаючи залишків брижі на ньому. Також намагалися зберігати мінімально можливу відстань між інструментами, які накладалися на відросток, для максимального контролю амплітуди рухів і уникнення пошкодження суміжних анатомічних структур.

У трьох випадках виникла потреба в третьому інструменті – м'якому атравматичному вікнастому затискачі – через додатковий 5,5 мм порт. Двічі маніпулятор ввели крізь ліву бокову стінку над основним боковим портом для відведення петлі кишки, а одного разу порт встановили в правій здухвинній ділянці над місцем оперативного прийому для додаткового утримування затискачем відростка, що полегшувало його мобілізацію.

Після завершення мобілізації відростка і перетискання його основи дисектором наклали петлю Редера. Далі ножицями пересікли нитку, потім відсмоктали екссудат (за його наявності) і виконали (за потреби) санацію черевної порожнини, після чого наклали 2-гу петлю Редера. На 4–5 мм дистальніше петлі провели коагуляцію основи та ножицями від-

сікли відросток по лінії коагуляції. Така послідовність дій допомогла зменшити кількість замін інструментів крізь порти та відповідно скоротила час операції. Відросток зазвичай видаляли через нижній порт 10 мм за допомогою м'якого вікнастого затискача, накладеного поперечно на відросток безпосередньо дистальніше місця коагуляції його основи. З метою зменшення ризику контамінації рани намагалися видалити порт разом з апендиксом у середині нього. У 5 пацієнтів віком до 5 років вдалося видалити відросток через порт меншого діаметра (5,5 мм). У просвіт порту затягувати паросток слід повільно, одночасно обертаючи його довкола своєї осі. Швидке введення відростка у порт за верхівку вважаємо помилкою, оскільки це, імовірно, призвело в одному випадку до невиявленого випадіння фекаліта в черво, що згодом потребувало релапаротомії. Після контрольної лапароскопії пацієнта переміщали в горизонтальне положення на столі або забирали валик із-під хворого. Далі з черевної порожнини виводили інструмент, після чого боковий і верхній порти залишали відкритими на 30–40 с і злегка натискали на черевну стінку для максимальної евакуації вуглекислого газу з черева, лише після цього їх видаляли. Операцію завершували накладанням швів тільки на шкіру.

У 18 (3,0% серед усіх ЛА) випадках через значну товщину відростка виконали заміну 10 мм порту на 12 мм, що в більшості випадків дало змогу уникнути необхідності розширення нижньої рани. Однак у 8 (1,3%) пацієнтів довелося виконати розширення нижньої рани для видалення значно потовщеного червоподібного відростка. За контейнер для апендикса використали презерватив, хоча в процесі видалення в 5 пацієнтів останній розірвався. Через це в разі значного діаметра відростка рекомендуємо утримувати інструментом контейнер із відростком крізь боковий порт аж до повного видалення його з черевної порожнини, а лапароскоп видаляти в останню чергу для уникнення залишення змінених тканин або сторонніх тіл у середині живота.

За наявності ознак вираженого оментиту на тлі деструктивних форм, ускладнених формуванням

# Original articles. Abdominal surgery

**Таблиця 4**

Дренування черевної порожнини залежно від виду оперативного втручання

| Вид втручання | 2019 р. | 2020 р. | 2021 р. | 2022 р. | 2023 р. | 2024–2025 рр. | Усього |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------|--------|
| ЛА            | 2       | 7       | 4       | 2       | 2       | 2             | 19     |
| Конверсія     | 1       | 1       | 2       | -       | -       | 3             | 7      |
| ВА            | 3       | 4       | 2       | 1       | 2       | 1             | 13     |
| Релапаротомія | -       | -       | 1       | -       | -       | 1             | 2      |
| Усі види      | 6       | 12      | 9       | 3       | 4       | 7             | 41     |

**Таблиця 5**

Кількість і вид оперативного втручання при перитонітах

| Вид втручання | 2019 р. | 2020 р. | 2021 р. | 2022 р. | 2023 р. | 2024–2025 рр. | Усього |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------|--------|
| ЛА            | 10      | 18      | 12      | 21      | 12      | 7             | 80     |
| Конверсія     | 3       | 1       | 5       | 4       | -       | 4             | 17     |
| ВА            | 20      | 9       | 4       | 1       | 4       | 1             | 39     |
| Релапаротомія | -       | -       | 1       | -       | -       | 1             | 2      |
| Усі види      | 33      | 28      | 22      | 26      | 16      | 13            | 138    |

периапендикулярного інфільтрату або абсцесу, виконали резекцію великого сальника в межах здорових тканин із використанням біполярної електрокоагуляції з поетапним його відсіченням ножицями по межі коагуляції, що зазвичай потребувало чимало часу при проведенні ЛА. Кількість виконаних резекцій залежно від виду втручання наведено в таблиці 3.

Загалом резекцію великого сальника через виражені ознаки оментиту виконали 31 пацієнтові, що становило 4,4% усіх виконаних операцій. Із 600 ЛА резекцію виконали 15 (2,5%) хворим, із 18 конверсій – 6 (33,3%) пацієнтам, із 81 ВА – 9 (11,1%) хворим, із 2 релапаротомій – 1 (50,0%) хворому.

Екссудат/гній із черевної порожнини аспірували електровідсмоктувачем. Так, за наявності перфоративного апендициту з випадінням щільного вмісту з просвіту відростка (калових мас або фекалітів, густого гною) спочатку максимально виконали його аспірацію, потім промили місце найбільшого забруднення теплим стерильним 0,9% розчином хлориду натрію з наступним повторним відсмоктуванням. При місцевому перитоніті намагалися уникати введення значного об'єму промивного розчину для попередження контамінації потенційно незабруднених ділянок черевної порожнини.

За наявності великої кількості екссудату і сумнівів щодо повноцінної його аспірації виконали дренування порожнини малої миски на 1–3 доби трубчастим дренажем через місце розташування нижнього порту. Критерієм видалення дренажу вважали відсутність або мінімальну кількість виділень упродовж доби. У 3 випадках у черевній порожнині

залишили контрольний дренаж для контролю гемостазу.

Дренування черевної порожнини силіконовою трубкою виконали 41 (5,7% загальної кількості втручань) пацієнтові. При ЛА його провели 19 (3,2% від усіх ЛА) пацієнтам, при конверсіях – 7 (38,9% від усіх конверсій) хворим, при ВА – 13 (16,0% від усіх ВА) пацієнтам, при релапаротомії – 2 (100% від усіх релапаротомій) хворим. Кількість проведених дренувань вказано в таблиці 4.

Апендикулярний перитоніт виявили у 136 хворих, що становило 19,5% від усіх ГА. У 2 випадках пацієнтам із перитонітом довелося виконати релапаротомію після лікування методом ЛА, тому загальна кількість втручань становила 138. При цьому у 80 (58,0% від усіх пацієнтів із перитонітом) випадках вдалося виконати ЛА, 17 (12,3%) хворих потребували конверсії, ще 39 (28,3%) дітям провели ВА. Релапаротомію виконали 2 (1,4% від усіх операцій при перитонітах) хворим. Показанням до виконання ВА з використанням розширеного косо-поперечного доступу або серединної лапаротомії вважали наявність у пацієнта клінічної картини поширеного перитоніту зі здуттям живота через парез кишки, що значно ускладнювало введення портів. Кількість і вид операцій при перитонітах на тлі ГА наведено в таблиці 5.

За даними таблиці 3, у 2019 р. ЛА виконали 10 із 33 пацієнтів, що становило 30,3% від усіх випадків перитоніту, а надалі кількість ЛА перевищила половину усіх операцій при перитоніті на рік.

Конверсію виконали 18 (2,9% від усіх виконаних лапароскопій) пацієнтам. Причини конверсії:

- деструктивна форма апендициту в поєднанні з аномаліями черевної порожнини:

- гангренозно-перфоративний апендицит із ретроперитонеальним розташуванням відростка – 2 випадки;

- флегмонозний апендицит із ретроперитонеальним розміщенням відростка – 2 випадки;

- гангренозно-перфоративний апендицит із підпечінковим розташуванням відростка через незавершений поворот – 2 випадки;

- флегмонозний апендицит із підпечінковим розташуванням відростка через незавершений поворот – 1 випадок;

- гангренозно-перфоративний апендицит, субсерозне розташування – 1 випадок;

- гангренозно-перфоративний апендицит, тазове розміщення відростка – 2 випадки;

- гангренозно-перфоративний апендицит, мезоцекальне розміщення – 1 випадок;

- флегмонозний апендицит, фіксований множиними ембріональними спайками – 1 випадок;

- гангренозно-перфоративний апендицит у поєднанні з мегадоліхосигмою – 1 випадок;

- гангренозно-перфоративний апендицит зі щільним периапендикулярним інфільтратом – 2 випадки;

- гангренозно-перфоративний апендицит, розлитий перитоніт – 2 випадки;

- флегмонозний апендицит у поєднанні зі спонтанним перекутом і некрозом пасма великого сальника (виконали ЛА, а потім крізь поперечну підреберну лапаротомію справа здійснили резекцію некротизованої ділянки сальника) – 1 випадок.

Релапаротомію виконали 2 хворим, що становило 0,3% від усіх проведених втручань. Причини релапаротомії:

- формування тазового абсцесу та оментиту через невиявлення калового каменя при ЛА з приводу гангренозного апендициту, місцевого гнійного перитоніту; на 6-ту добу після першої операції виконали нижньо-серединну лапаротомію, ревізію, резекцію пасма великого сальника, санацію і дренивання порожнини малого таза трубчастим дренажем крізь рану нижнього порту – 1 пацієнт;

- формування абсцедуючого тазового інфільтрату через недостатню санацію черевної порожнини при ЛА з приводу гангренозно-перфоративного апендициту, дифузного гнійного перитоніту; на 14-ту добу після 1-ї операції виконали поперечну правобічну лапаротомію, ревізію, санацію і дренивання порожнини малого таза трубчастим дренажем через рану нижнього порту – 1 хворий.

При цьому слід зазначити, що дренивання черевної порожнини під час першого втручання в цих пацієнтів не проводили.

У разі ЛА виявили інтраопераційні ускладнення в 67 (11,2% від усіх ЛА) пацієнтів:

- введення вуглекислого газу в передочеревинну клітковину, що дещо зменшує простір для маніпуляцій; для профілактики слід вводити перший троакар або голку Вереша до відчуття другого «проваду» – 16 випадків;

- нагнітання вуглекислого газу в середину великого сальника; газ виводили шляхом притискання інструментом сальника дозадку – 8 випадків;

- випадкове травмування великого сальника при виконанні дисекції, ревізії чи аспірації ексудату; кровотечу зупиняли шляхом коагуляції, одному пацієнтові виконали крайову резекцію – 12 випадків;

- розрив або випадкова перфорація червоподібного відростка з витоком гною чи випадінням калових каменів із його просвіту під час його мобілізації або за невдалої спроби затягнути його в середину порту при його екстракції; виконали аспірацію вмісту електровідсмоктувачем, а в 6 випадках додатково використали іригацію місця забруднення стерильним 0,9% розчином хлориду натрію із наступною аспірацією – 14 випадків;

- кровотеча з брижі відростка, яку успішно зупинили електрокоагуляцією, – 12 випадків;

- перфорація сечового міхура троакаром 10 мм при введенні нижнього порту на тлі його неспороження перед операцією; здійснили катетеризацію міхура на 3 доби та дренивали рану після операції гумовим випускником на 3 доби – 1 випадок;

- інтраопераційне ненаскрізне пошкодження купола сліпої кишки до рівня слизової оболонки при затягуванні петлі Редера дисектором; наклали два інтракорпоральні вузлові шви на ділянку пошкодження – 1 випадок;

- випадіння пасма великого сальника назовні з троакарної рани при видаленні порту (верхнього або бокового); вправили його досередини затискачем або зондом, а в одному випадку навіть додатково провели повторну лапароскопію і затягнути пасмо сальника зсередини – 3 випадки.

При цьому жодне із зазначених ускладнень не потребувало конверсії.

Під час хірургічного втручання в 13 випадках, що становило 1,9% від усіх хворих, знайшли додаткові анатомічні «несподіванки», зокрема, знахідками під час ЛА стали:

- гемоперитонеум через апоплексію яєчника в поєднанні з катарально-виразковим апендицитом

## Original articles. Abdominal surgery

**Таблиця 6**

Середня тривалість оперативного втручання, хв

| Вид втручання | 2019 р. | 2020 р. | 2021 р. | 2022 р. | 2023 р. | 2024–2025 рр. |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------|
| ЛА            | 67,8    | 53,4    | 34,8    | 37,8    | 42,1    | 37,4          |
| Конверсія     | 83,3    | 100,0   | 89,9    | 102,2   | -       | 104,2         |
| ВА            | 44,2    | 55,8    | 52,3    | 60,0    | 54,8    | 70,0          |
| Релапаротомія | -       | -       | 60,0    | -       | -       | 50,0          |

1 хвора) і 1 пацієнтка з флегмонозним апендицитом (апендектомія та коагуляція місця розриву за консультацією гінеколога) – 2 випадки;

- оваріальна кіста при катарально-виразковому апендициті (апендектомія та висічення кісти за консультацією гінеколога) – 3 пацієнтки;

- перекут гідатиди маткової труби на тлі флегмонозного апендициту (апендектомія, видалення привіска за консультацією гінеколога) – 1 хвора;

- персистуюча омфало-мезентеріальна протока при флегмонозному апендициті (апендектомія та висічення протоки) – 1 пацієнт;

- здухвинно-ободова інвагінація в поєднанні з флегмонозним апендицитом і реактивним мезаденітом (розправлення інвагінації, апендектомія, біопсія мезентеріального лімфовузла) – 1 хворий;

- перекут і некроз пасма великого сальника на тлі катарально-виразкового апендициту (ЛА, резекція ділянки сальника через підреберний лапаротомний доступ) – 1 пацієнт.

Додаткові знахідки під час ВА:

- первинний перитоніт, вторинний катарально-виразковий апендицит (апендектомія, санація черевної порожнини) – 1 хвора;

- гемоперитонеум через апоплексію яєчника, катарально-виразковий апендицит (апендектомія, коагуляція розриву за консультацією гінеколога) – 1 пацієнтка;

- вроджена вада розвитку (стангуляційна кишкова непрохідність через защемлення петлі здухвинної кишки у вродженій фенестрі брижі тонкої кишки, катарально-виразковий апендицит (розправлення кишки, ушивання фенестри, апендектомія) – 1 хворий;

- дивертикул Меккеля, катарально-виразковий апендицит (апендектомія, дивертикулектомія) – 1 пацієнт.

Середню тривалість хірургічних втручань наведено в таблиці 6.

На початку ЛА середня тривалість втручання становила 67,8 хв у 2019 р., але до 2021 р. уже скоротилася до 34,8 хв і надалі залишалася в межах 37,4–42,1 хв. Водночас тривалість ВА зросла з 44,2 хв

у 2019 р. до 70,0 хв у 2024–2025 р. Середня тривалість конверсії коливалася в межах 83,3–104,2 хв упродовж усього періоду спостереження.

Ранні післяопераційні ускладнення після ЛА виявили у 213 (35,5% від усіх ЛА) хворих:

- френікус-симптом, що самостійно зникав впродовж першої доби після операції і не потребував додаткового знеболювання – 204 випадки;

- нагноєння нижньої рани на 4–5-ту добу після операції, через яку видалили відросток із черевної порожнини; для лікування знімали шов із рани і дренивали її на 2–3 доби гумовою стрічкою – 4 випадки;

- формування тазового абсцесу, що потребувало повторного оперативного втручання на 8 і 14-ту добу, описано вище – 2 випадки;

- формування запального осередка в місці хірургічного втручання на 6–8-ту добу після операції, який діагностували через повторну появу гарячки в пацієнтів, підтвердили даними ультрасонографії та наростанням запальних змін у загальному аналізі крові, успішно пролікували консервативно шляхом продовження курсу антибактеріальної терапії – 2 випадки;

- випадіння пасма великого сальника при видаленні трубчастого дренажу на 3-тю добу після операції; виконали вправлення сальника в черевну порожнину зондом під короткочасною седацією – 1 випадок.

Після конверсії виявили 1 випадок раннього післяопераційного ускладнення, що становило 5,6% від усіх конверсій. Це – формування передочеревинного абсцесу в ділянці післяопераційної лапаротомної рани на 10-ту добу після першої операції. Пацієнтові виконали розкриття, санацію і дренивання абсцесу, а також призначили повторний курс антибактеріальної терапії згідно з результатом чутливості мікроорганізмів до антибіотиків.

Середній термін перебування в стаціонарі після ЛА послідовно скоротився з 4,3 доби у 2019 р. до 2,1 доби у 2024 р. Після ВА строки стаціонарного лікування становили 5,6 доби і 7,3 доби, відповідно. Після конверсії середній термін госпіталізації був

Таблиця 7

Середній термін перебування в стаціонарі після оперативного втручання, діб

| Вид втручання | 2019 р. | 2020 р. | 2021 р. | 2022 р. | 2023 р. | 2024–2025 рр. |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------|
| ЛА            | 4,3     | 3,6     | 3,8     | 3,0     | 2,5     | 2,1           |
| Конверсія     | 7,0     | 8,0     | 7,2     | 7,5     | -       | 9,5           |
| ВА            | 5,6     | 6,2     | 7,0     | 6,0     | 7,3     | 6,0           |
| Релапаротомія | -       | -       | 14      | -       | -       | 21            |

найкоротшим у 2019 р. (7,0 доби), а у 2024 р. він збільшився до 9,5 доби. Це, імовірно, пов'язано зі складністю клінічних випадків, які потребували конверсії. Загальні строки лікування після релапаротомії становили 14–21 добу (табл. 7).

Усі прооперовані пацієнти одужали і були виписані зі стаціонару.

Отже, слід резюмувати, що від початку застосування ЛА на базі відділення найбільшу кількість ВА (61 випадок, що становило 44,2% від усіх апендектомій за рік) виконали впродовж 2019 р., імовірно, через те, що був потрібен час для освоєння нової методики. При цьому за зазначений період провели лише 3 (2,2%) конверсії. Упродовж наступних років кількість виконаних ЛА становила понад 91% серед усіх апендектомій за рік, водночас кількість ВА не перевищувала 3,6%. Кількість конверсій при цьому коливалася в межах 0–4,8% за рік, а їх причиною стало поєднання деструктивних форм з анатомічними аномаліями черевної порожнини. Середній час ЛА скоротився з 67,8 хв у 2019 р. до 37,4 хв у 2024–2025 р., водночас тривалість ВА зростала до 70,0 хв через поєднання анатомічної складності випадків із вираженістю гнійно-запального процесу в черевній порожнині. Тривалість післяопераційного стаціонарного лікування після ЛА скоротилася з 4,3 доби у 2019 р. до 2,1 доби у 2024 р. Таких результатів вдалося досягти завдяки тому, що лапароскопія дала змогу провести повноцінну ревізію та оцінити стан органів черевної порожнини, що надзвичайно складно або і неможливо здійснити з косо-поперечного доступу під час ВА (наприклад, перекут великого сальника, розташований під печінкою, персистуюча омфало-мезентеріальна протока тощо).

Деструктивні форми ГА становили 83,2%. Ознаки перитоніту виявили у 19,5% хворих, причому більшість із них (58,0%) удалося прооперувати лапароскопічно. У 12,3% пацієнтів із перитонітом після лапароскопії виконали конверсію, а ще у 28,3% хворих провели ВА. Показанням до виконання ВА вважали наявність у пацієнта клінічної картини поширеного перитоніту зі здуттям живота через парез

кишки. У 2019 р., на початку освоєння методики ЛА, це втручання виконали у 30,3% пацієнтів із перитонітом, а надалі кількість ЛА становила понад 50% серед усіх операцій при перитоніті на рік.

Після ЛА в 11,2% випадків виявили інтраопераційні ускладнення. Найчастішими з них були інсуфляція вуглекислого газу в передочеревинну клітковину, нагнітання вуглекислого газу в середину великого сальника, випадкове травмування великого сальника і розрив або випадкова перфорація червоподібного відростка, кровотеча з брижі апендикса, що серед усіх інтраопераційних ускладнень при ЛА становило 92,5%. Найбільш потенційно небезпечними ускладненнями слід вважати троакарне пошкодження сечового міхура і пошкодження купола сліпої кишки дисектором. Для запобігання перфоративній сечовій міхура слід випорожнити перед операцією. При цьому всі вказані ускладнення не потребували конверсії.

Ранні післяопераційні ускладнення виявили в 35,5% пацієнтів після ЛА, при цьому найчастішим був френікус-симптом (95,8% від усіх ускладнень після ЛА), який виникав через недостатню деінсуфляцію вуглекислого газу і самостійно зникав упродовж першої доби без потреби додаткового знеболювання. Найсерйознішим післяопераційним ускладненням стало формування тазового інфільтрату з абсцедуванням, що потребувало релапаротомії на 8 і 14-ту добу після першого втручання.

Релапаротомію після ЛА виконали 2 (0,3% від усіх втручань) пацієнтам, а її причинами слід вважати помилку при введенні відростка в порт, недостатні ревізію черевної порожнини та її санацію після апендектомії, а також відсутність дренажу. Швидка форсована екстракція апендикса у порт за верхівку є помилкою, оскільки це, імовірно, призвело до невиявленого випадіння фекаліта з просвіту відростка в черевну порожнину.

Дренажування черевної порожнини загалом виконали 41 (5,7% усіх втручань) хворому. Показаннями до нього вважали велику кількість екссудату і сумнів у повноцінній його аспірації з черевної порожнини або необхідний контроль за гемостазом.

## Original articles. Abdominal surgery

### Висновки

Лапароскопічна апендектомія на сьогодні стала засобом першочергового вибору в хірургічному лікуванні ГА в дітей, що вдалося виконати в понад 91% випадків і дало змогу скоротити час операції і тривалість післяопераційної реабілітації порівняно з ВА.

За наявності ознак ГА операцію доцільно розпочинати з оглядової лапароскопії, що допомагає виявити локалізацію і вираженість запального процесу, особливості анатомії черевної порожнини і можливі супутні патології, які в разі виконання класичного косо-поперечного доступу візуалізувати буває дуже складно або і неможливо.

Інтраопераційні ускладнення ЛА виявлені в 11,2% випадків, вони не потребували конверсії.

У разі сумнівів щодо повноцінної санації черевної порожнини від патологічного вмісту операцію доцільно завершувати дренажуванням порожнини малого таза трубчастим дренажем на 1–3 доби.

Протипоказанням до ЛА слід вважати наявність у пацієнта клінічної картини поширеного перитоніту зі здуттям живота через парез кишки.

Виважене лапароскопічне оцінювання конкретної інтраопераційної ситуації дає змогу обґрунтовано прийняти рішення про перехід на конверсію, а це запобігає виникненню критичних для пацієнта ускладнень як під час, так і після операції.

*Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.*

### References/Література

- Anderson R, Brown T, Lee S. (2021). Trends in pediatric appendectomy: A decade of laparoscopic innovation. *Pediatric Surgical Innovations*. 48(2): 123-130. doi: 10.1007/s00383-021-04812-9.
- Brown T, Lee S, Anderson R. (2022). Preoperative preparation and its impact on outcomes in pediatric laparoscopic appendectomy. *Journal of Pediatric Surgical Techniques*. 49(3): 89-95. doi: 10.1007/s00383-022-04989-6.
- Dobel AA, Alkhalidi NA, Alkharashi AA, Aljamaan NH, Mahfouz MEM. (2024). Postoperative Complications Following Appendectomy: A Single-Center Retrospective Study. *Cureus*. 16(9): e70219. doi: 10.7759/cureus.70219. PMID: 39463519; PMCID: PMC11512652.
- Dvorakevych AO, Gurayevskiy AA, Stasyshyn AR, Gurayevskiy A-DA, Shevchuk DV, Kalinchuk OO. (2022). The first experience of using robot-assisted surgery in childhood in Ukraine. *Paediatric Surgery. Ukraine*. 4(77): 91-95. [Дворакевич АО, Гураєвський АА, Стасишин АР, Гураєвський А-ДА, Шевчук ДВ, Калінчук ОО. (2022). Перший досвід застосування робот-асистованої хірургії в дитячому віці в Україні. *Хірургія дитячого віку*. 4(77): 91-95]. doi: 10.15574/PS.2022.77.91.
- Goncharuk OS, Tytarenko NV, Voznyuk AV et al. (2024). The effect of perioperative intravenous infusion of lidocaine on the quality of postoperative recovery after various types of surgical interventions in children. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 1(82): 9-17. [Гончарук ОС, Титаренко НВ, Вознюк АВ та ін. (2024). Вплив періопераційної внутрішньовенної інфузії лідокаїну на якість післяопераційного відновлення після різних видів оперативних втручань у дітей. *Хірургія дитячого віку*. 1 (82): 9-17]. doi: 10.15574/PS.2024.82.9.
- Hall J, Schneider P, Brown T. (2023). Management of complicated appendicitis in children: Laparoscopic versus open approaches. *Pediatric Surgery Today*. 58(1): 15-22. doi: 10.1016/j.pedsurg.2023.01.003.
- Ioannis V, Constantinou F. (2018). Comparison between Open and Laparoscopic Appendectomy: A Systematic Review. *World J Surg Surgical Res*. 1: 1004.
- Jiang H, Li F, Chen Y. (2019). Conversion rates and outcomes in pediatric laparoscopic appendectomy: A meta-analysis. *World Journal of Pediatric Surgery*. 12(1): 45-52. doi: 10.5005/wjps-2019-0012.
- Lee S, Brown T, Anderson R. (2023). Robotic-assisted laparoscopic appendectomy in children: A new frontier. *Journal of Pediatric Robotic Surgery*. 12(1): 5-12. doi: 10.1016/j.jprrs.2023.01.001.
- Li J, Wang Y, Zhang X. (2022). Advances in laparoscopic appendectomy in pediatric surgery. *Journal of Pediatric Surgery*. 57(3): 345-352. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2021.09.012.
- Löfgren P, Eriksson H, Arvidsson I et al. (2024). Is there a need for revised guidelines in the treatment of perforated appendicitis in children? A study of risk factors for prolonged hospital stay and postoperative complications. *Journal of Pediatric Surgery Open*. 8(2024): 100173. doi: 10.1016/j.jpso.2024.100173.
- Minneci PC, Hade EM, Lawrence AE et al. (2020). Association of Nonoperative Management Using Antibiotic Therapy vs Laparoscopic Appendectomy With Treatment Success and Disability Days in Children With Uncomplicated Appendicitis. *JAMA*. 11; 324(6): 581-593. doi: 10.1001/jama.2020.10888. PMID: 32730561; PMCID: PMC7385674.
- Omiling E, Salö M, Saluja S et al. (2019). Nationwide study of appendicitis in children. *British Journal of Surgery*. 106(12): 1623-1631. doi: 10.1002/bjs.11298.
- Pereyaslov AA, Stenyk RV, Bobak AI, Dvorakevych AO et al. (2021). Modern principles of diagnostic and treatment of acute appendicitis in children. *Paediatric Surgery. Ukraine*. 2(71): 32-41. [Переяслов АА, Стеник РВ, Бобак АІ, Дворакевич АО та інші. (2021). Сучасні принципи діагностики та лікування гострого апендициту в дітей. *Хірургія дитячого віку*. 2(71): 32-41]. doi: 10.15574/PS.2021.71.32.
- Rasmussen T, Fonnes S, Rosenberg J. (2018). Long-Term Complications of Appendectomy: A Systematic Review. *Scandinavian Journal of Surgery*. 107(3): 189-196. doi: 10.1177/1457496918772379.
- Rusak PS, Tolstakov OK, Rybalchenko VF, Stakhov VV, Voloshyn YL. (2020). Problematic issues of diagnosis and treatment of acute appendicitis in children. *Paediatric Surgery. Ukraine*. 3(68): 28-36. [Русак ПС, Толстанов ОК, Рибальченко ВФ, Стахов ВВ, Волошин ЮЛ. (2020). Проблемні питання діагностики та лікування гострого апендициту у дітей. *Хірургія дитячого віку*. 3(68): 28-36]. doi: 10.15574/PS.2020.68.28.
- Santos FHV, Dias ACS, Barbosa HA et al. (2024). Profile of Laparoscopic Appendectomy Complications in a Private Hospital in the Northern Region of Brazil, Eastern Amazon. *Journal of Advances in Medicine and Medical Research*. 36(1): 30-47. doi: 10.9734/jammr/2024/v36i15350.
- Schneider P, Hall J, Smith R. (2020). Identifying concurrent pathologies during laparoscopic appendectomy in children. *International Journal of Pediatric Surgery*. 45(4): 210-218. doi: 10.1016/j.ijps.2020.03.005.
- Seqsaqa M, Rozeik AE, Khalifa M et al. (2020). Laparoscopic versus open appendectomy in complicated appendicitis in children: a single center study. *Egypt Pediatric Association Gaz*. 68: 26. doi: 10.1186/s43054-020-00034-y.

20. Smith R, Hall J, Schneider P. (2021). Postoperative complications in pediatric appendectomy: A comparative study. *Pediatric Surgical Outcomes*. 46(2): 78-85. doi: 10.1016/j.pedsurgout.2021.02.007.
21. Zhang A, Fan N, Zhang X, Guo H, Zhou Y, Zeng L et al. (2024). Endoscopic retrograde appendicitis therapy. *Therap Adv Gastroenterol*. 24; 17: 17562848241275314. doi: 10.1177/17562848241275314. PMID: 39372040; PMCID: PMC11450793.

**Відомості про авторів:**

**Чаварга Михайло Іванович** – к.мед.н., доц., доц. каф. хірургічних хвороб з курсом дитячої хірургії ДВНЗ «Ужгородський національний університет»; лікар-хірург дитячий відділення дитячої хірургії КНП «Ужгородська міська багатoproфільна клінічна лікарня» УМР.  
Адреса: м. Ужгород, пл. Народна, 3. <https://orcid.org/0009-0006-7504-5395>.

**Гербут Сергій Феліксович** – зав. відділення дитячої хірургії КНП «Ужгородська міська багатoproфільна клінічна лікарня» УМР.  
Адреса: м. Ужгород, вул. І. Коришинського, 20. <https://orcid.org/0009-0002-5000-9559>.

**Ширяха Ярослав Степанович** – к.мед.н., доц., доц. каф. хірургічних хвороб з курсом дитячої хірургії ДВНЗ «Ужгородський національний університет».  
Адреса: м. Ужгород, пл. Народна, 3. <https://orcid.org/0000-0002-9779-4155>.

**Тегза Оксана Іванівна** – лікар-хірург дитячий відділення дитячої хірургії КНП «Ужгородська міська багатoproфільна клінічна лікарня» УМР.  
Адреса: м. Ужгород, вул. І. Коришинського, 20. <https://orcid.org/0009-0009-5240-1192>.

**Стан Норберт Йосипович** – лікар-хірург дитячий відділення дитячої хірургії КНП «Ужгородська міська багатoproфільна клінічна лікарня» УМР.  
Адреса м. Ужгород, вул. І. Коришинського, 20. <https://orcid.org/0009-0004-5312-061X>.

Стаття надійшла до редакції 25.08.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.

Y.A. Nakonechnyi

# Vesicourethral anastomosis modified posterior support in extraperitoneoscopic radical prostatectomy

SNPE «Danylo Halytskyi Lviv National Medical University», Ukraine

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 76-82. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).7682

**For citation:** Nakonechnyi YA. (2025). Vesicourethral anastomosis modified posterior support in extraperitoneoscopic radical prostatectomy. Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 76-82. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).7682.

Despite significant advances in surgical techniques for radical prostatectomy (RP), early urinary continence (UC) remains one of the clinical challenges. Multiple vesicourethral anastomosis (VUA) techniques, including anatomical reconstruction and suspension strategies, have been proposed to improve urinary continence outcomes. However, a clear consensus on the optimal approach has yet to be established.

**Aim** – to describe and evaluate the safety and feasibility of the modified posterior support of the vesicourethral anastomosis (PS-VUA) in the context of urinary continence (UC) after extraperitoneoscopic radical prostatectomy (ERP).

**Materials and methods.** This prospective study included 54 patients with non-metastatic prostate cancer (PCa) who underwent ERP. Patients were assigned into two equal groups (n=27 each) according to whether the PS-VUA was performed. Urinary continence (UC) was evaluated over a 12-month follow-up period after surgery.

**Results.** A statistically significant UC improvement was observed during the first 3 postoperative months in the group of patients who underwent PS-VUA ( $p < 0.05$ ). No statistically significant differences were observed between the study groups in terms of clinical characteristics, preservation volume, or postoperative complications (limited to Clavien–Dindo grade I–II events).

**Conclusions.** PS-VUA represents a safe and feasible surgical technique that may contribute to improved early UC outcomes following ERP in some groups of patients.

The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki. The protocol was approved by the Local Ethics Committee. Written informed consent was obtained from all participants.

The author declares no conflict of interest.

**Keywords:** radical prostatectomy, vesicourethral anastomosis, posterior support, prostate cancer.

## Модифікована задня підтримка везикоуретрального анастомозу при екстраперитонеоскопічній радикальній простатектомії

Й.А. Наконечний

ДНТ «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького», Україна

Попри значний розвиток технік виконання радикальної простатектомії (RP), питання раннього утримання сечі (UC) зберегло свою актуальність. Протягом останніх років було запропоновано численні варіації виконання везикоуретрального анастомозу (VUA), а також різні методи анатомічної реконструкції та задньої підтримки з метою покращення функціональних результатів. Проте консенсус щодо оптимальної техніки виконання наразі відсутній.

**Мета** – описати та оцінити безпеку та доцільність виконання модифікованої задньої підтримки везикоуретрального анастомозу (PS-VUA) у контексті UC після екстраперитонеоскопічної радикальної простатектомії (ERP).

**Матеріали та методи.** Це проспективне дослідження охопило 54 пацієнти з неметастатичним раком передміхурової залози (PCa), яким виконано ERP. Пацієнтів розподілено на дві рівні групи по 27 осіб залежно від виконання PS-VUA. UC оцінювалося протягом 12 місяців після операції.

**Результати.** Статистично значуще покращення UC констатовано протягом перших трьох післяопераційних місяців у групі пацієнтів, яким виконували PS-VUA ( $p < 0.05$ ). Вірогідні відмінності між досліджуваними групами щодо клінічних характеристик, об'єму презервації або післяопераційних ускладнень (обмежених подіями за класифікацією Клав'є–Діно I–II ступеня) не виявлено.

**Висновки.** PS-VUA є безпечною технікою, яка може сприяти покращенню UC після ERP у певної групи пацієнтів.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол схвалено місцевим етичним комітетом. Отримано інформовану згоду усіх учасників.

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** радикальна простатектомія, задня підтримка везикоуретрального анастомозу, рак простати.

## Introduction

Radical prostatectomy is a standard curative treatment for localized prostate cancer (PCa); however, post-operative urinary incontinence remains a frequent and clinically relevant complication that adversely affects early quality of life [27]. Despite continuous refinement of surgical techniques, optimization of early urinary continence (UC) recovery remains an unresolved challenge [4]. Various surgical strategies, including meticulous dissection, preservation of periurethral support structures, and reconstructive techniques, have been proposed to improve functional outcomes [9,27]. Support and suspension of the vesicourethral anastomosis (VUA) restore bladder neck stability and vesicourethral alignment, potentially accelerating continence recovery [3,22,24,28]. However, no consensus exists on the optimal dissection or reconstruction technique [7,13,25].

**The aim** of the study is to describe and evaluate the safety and feasibility of the modified posterior support (PS) of the vesicourethral anastomosis (PS-VUA) in the context of UC after extraperitoneoscopic radical prostatectomy (ERP).

## Material and methods of the study

This prospective study included 54 patients with non-metastatic PCa who underwent ERP between 2022 and 2024 at the University Clinic of Danylo Halytskyi Lviv National Medical University. Preservation of the posterior wall of the bladder-neck outlet (PW-BNO-P), arcus tendineus (AT-P), puboprostatic ligaments (PPL-P), distal portion of the dorsal vascular complex (DP-DVC-P), and maximal functional urethral length (MFUL-P) was performed in all cases. PS-VUA

was performed in 27 patients (PS-1), and outcomes were compared with those in the group where this modification was not applied (PS-0). Exclusion criteria consisted of metastatic PCa, finasteride use, and neoadjuvant or adjuvant androgen-deprivation therapy. UC outcomes were evaluated at 1, 3, 6, 9, and 12 months after the surgery. UC was considered present if the patient had a voided volume  $\geq 250$  ml and no leakage during a cough stress test, which was confirmed by objective examination results using ultrasound and uroflowmetry. According to these criteria, UC was preserved in all patients prior to surgery.

### Surgical technique

All ERP procedures were performed according to the principles of personalized preservation and precise MRI-based surgical planning, as previously described [17,18]. The VUA with single-layer anatomical reconstruction (SLAR) and anterior smooth muscle urethral sphincter preservation (AUS-P) was done in all cases, following the previously published technique [16]. Once the knots at the 7 and 5 o'clock positions were tied, the long suture ends were intentionally preserved to enable PS (Fig. 1).

The last one was achieved by tying together the knots ends of the sutures placed at the 7 and 9:30 o'clock positions on the left side, and at the 5 and 2:30 o'clock positions on the right side, at the PPL-P surface (Fig. 2, 3).

This maneuver resulted in a more cephalad positioning of the posterior aspect of the VUA, providing enhanced posterior support and promoting anatomically favorable alignment (Fig. 4).

VUA watertightness was then assessed; if leakage was detected, additional superficial sutures were applied.



**Fig. 1.** Tying of vesicourethral anastomosis sutures placed at the 5 and 7 o'clock positions on the surface of the Denonvilliers' fascia

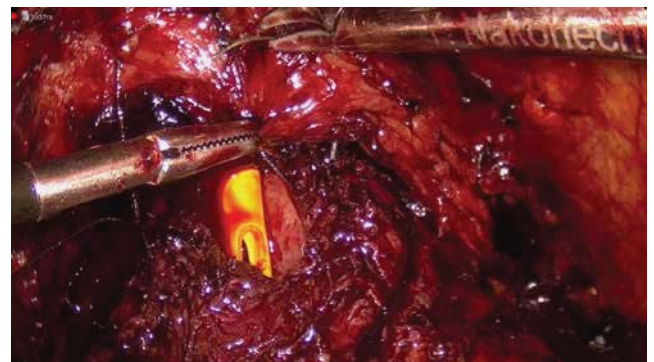


**Fig. 2.** Vesicourethral anastomosis sutures placed at the 2:30 and 9:30 o'clock positions, incorporating the PPL-P



**Fig. 3.** Performance of vesicourethral anastomosis posterior suspension on the left side

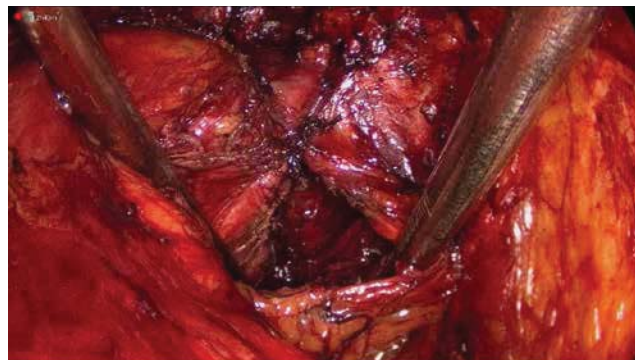


**Fig. 4.** Final appearance of the completed VUA shown from the right side, with the arcus tendineus led out laterally

Statistical analysis was performed using MedCalc free statistical calculators and STATISTICA version 10 (64-bit). Numerical data are presented as median (Me), lower quartile (LQ), and upper quartile (UQ). The Mann–Whitney U test was used to compare quantitative variables between independent groups. Results were considered statistically significant at  $p \leq 0.05$ .

The study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. The study protocol was approved by the Local Ethics Committee, and written informed consent was obtained from all participants.

## Results of the study

A total of 54 patients with clinically localized PCa were included in the analysis and stratified into two equal groups according to posterior suspension status: PS-0 ( $n=27$ ) and PS-1 ( $n=27$ ). The median age of the entire cohort was 66 years (63; 72), and the median body mass index (BMI) was  $30.0 \text{ kg/m}^2$  (27.4; 35.6), indicating a predominance of overweight and obese patients. Multiparametric magnetic resonance imaging (mpMRI), clinical T stage, and preoperative prostate-specific antigen (PSA) assessment demonstrated a high burden of clinically significant disease, with a median PI-RADS score of 4 (4; 5), a median clinical stage of cT2c (cT2a; cT2c), and a median PSA level of  $11.5 \text{ ng/mL}$  (9.0; 19.6), respectively. Benign prostatic hyperplasia (BPH) was prevalent in the cohort, with a median prostate volume (PV) of  $52.5 \text{ mL}$  (45.0; 63.8). Baseline demographic and oncological characteristics were well balanced between the PS-0 and PS-1 groups. No statistically significant differences were observed between the groups with respect to age ( $p=0.199$ ), BMI ( $p=0.856$ ), PSA level ( $p=0.156$ ), prostate volume ( $p=0.586$ ), PI-RADS score ( $p=0.602$ ), or clinical T stage ( $p=0.784$ ), as assessed using the Mann–Whitney U test (Table 1).

Postoperative pathological assessment confirmed organ-confined or locally advanced disease in the majority of cases, with a median pathological T stage of pT2c

(pT2c; pT3b). No significant differences in pathological T stage distribution were identified between the PS-0 and PS-1 groups ( $p=0.847$ ). Tumor grading demonstrated a median preoperative ISUP grade group of 2 (2; 3), which increased to a median pathological ISUP grade group of 3 (2; 4) after definitive histopathological evaluation. Both preoperative and pathological ISUP grade distributions were comparable between groups ( $p=0.191$  and  $p=0.835$ , respectively).

Perioperative parameters were similar between the two study groups. The median operative time was 144.5 minutes (130; 155), with no significant difference between PS-0 and PS-1 ( $p=0.511$ ). The median VUA time was 20.7 minutes (18.9; 23.1), also without significant intergroup variation ( $p=0.121$ ). Median estimated blood loss was 335 mL (275; 415) and did not differ significantly between groups ( $p=0.478$ ). Postoperative recovery was comparable in both groups. The median length of hospital stay was 8 days (7; 9), and urethral catheter removal (UC-R) was typically performed on postoperative day 7 (7; 8), with no statistically significant differences observed ( $p=0.729$  and  $p=0.124$ , respectively).

Complications among the study participants were limited to Clavien–Dindo grade I–II events, occurring in 14.8% of patients ( $n=8$ ). Intraoperative vesicourethral anastomosis leakage (IOVUAL) occurred in 9.3% of patients (5/54), including 11.1% (3/27) in the PS-0 group and 7.4% (2/27) in the PS-1 group ( $p=0.654$ ). Postoperative vesicourethral anastomosis leakage (POVUAL) was observed in 7.4% of cases overall (4/54), with rates of 11.1% (3/27) in PS-0 and 3.7% (1/27) in PS-1, without statistical significance ( $p=0.312$ ). Anastomotic leakage events did not influence hospital stay duration or timing of UC-R.

No cases of urethral stricture were recorded during the follow-up period. The extent of nerve-sparing (NS) preservation did not differ significantly between groups (Table 2).

**Table 1**

Study groups clinical data, Me (Q1; Q3)

| Parametr   | PCa (n=54)        | PS-0 (n=27)       | PS-1 (n=27)       | p-value (PS-0 vs PS1) |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| Age, years | 66 (63; 72)       | 65 (62; 71)       | 68 (63; 73)       | 0.199                 |
| BMI        | 30 (27.4; 35.6)   | 30.8 (25.7; 37.7) | 30 (27.5; 34.3)   | 0.856                 |
| PSA, ng/ml | 11.5 (9; 19.6)    | 12.4 (9.3; 19.7)  | 10.7 (7.98; 17.2) | 0.156                 |
| PV         | 52.4 (45; 63.8)   | 53 (44.5; 69.8)   | 52.2 (45.4; 57.7) | 0.586                 |
| PIRADS     | 4 (4; 5)          | 4 (4; 5)          | 4 (4; 5)          | 0.602                 |
| T-stage    | 2c (2a; 2c)       | 2c (2b; 2c)       | 2c (2a; 2c)       | 0.784                 |
| pT-stage   | 2c (2c; 3b)       | 2c (2c; 3b)       | 2c (2c; 3b)       | 0.847                 |
| ISUP       | 2 (2; 3)          | 2 (2; 2)          | 2 (2; 3)          | 0.191                 |
| pISUP      | 3 (2; 4)          | 3 (2; 4)          | 3 (2; 3)          | 0.835                 |
| OT, min    | 144.5 (130; 155)  | 145 (134; 160)    | 144 (121; 155)    | 0.511                 |
| VUAT, min  | 20.7 (18.9; 23.1) | 19.7 (18.6; 23.6) | 21.7 (19.2; 23.1) | 0.121                 |
| EBL, ml    | 335 (275; 415)    | 335 (280; 415)    | 325 (270; 425)    | 0.478                 |
| HS, days   | 8 (7; 9)          | 8 (7; 9)          | 8 (7; 9)          | 0.729                 |
| UC-R, day  | 7 (7; 8)          | 7 (7; 9)          | 7 (7; 8)          | 0.124                 |
| IOVUAL     | 9.3% (5)          | 11.1% (3)         | 7.4% (2)          | 0.654                 |
| POVUAL     | 7.4% (4)          | 11.1% (3)         | 3.7% (1)          | 0.312                 |

Notes: PS – posterior support, PS-0 – not performed, PS-1 – performed; BMI – body mass index; PSA – prostate-specific antigen; PV – prostate volume; PIRADS – Prostate Imaging-Reporting and Data System; ISUP – International Society of Urological Pathology grade; OT – operative time; VUAT – vesicourethral anastomosis time; EBL – estimated blood loss; HS – hospital stay; UC-R – urinary catheter removal; IOVUAL – intraoperative vesicourethral anastomosis leakage; POVUAL – postoperative vesicourethral anastomosis leakage.

**Table 2**

Study groups preservation volume data, % (n)

| Parametr        | PCa (n=54) | PS-0 (n=27) | PS-1 (n=27) | p-value (PS-0 vs PS1) |
|-----------------|------------|-------------|-------------|-----------------------|
| NS-none         | 1.9 (1)    | 0 (0)       | 3.7 (1)     | 0.336                 |
| NS-partial-none | 22.2 (12)  | 18.5 (5)    | 25.9 (7)    | 0.524                 |
| NS-partial      | 18.5 (10)  | 22.2 (6)    | 14.8 (4)    | 0.496                 |
| NS-partial-full | 46.3 (25)  | 48.1 (13)   | 44.4 (12)   | 0.795                 |
| NS-full         | 11.1 (6)   | 11.1 (3)    | 11.1 (3)    | 0.987                 |

Notes: NS – nerve-sparing; PCa – prostate cancer; PS – posterior support, PS-0 – not performed, PS-1 – performed.

The most common pattern was partial-full NS, observed in 46.3% of the total cohort, with comparable rates in PS-0 (48.1%) and PS-1 (44.4%) ( $p=0.795$ ). Complete NS was achieved in 11.1% of patients in both groups ( $p=0.987$ ). Full bladder neck preservation was performed whenever possible, taking into account intravesical prostate protrusion and oncological safety. The latter was achieved in 15 patients (27.8%), with no significant difference between the study groups: 8 patients in the PS-0 group and 7 patients in the PS-1 group. UC improved progressively over time in the entire cohort (Table 3, Figure 5). Overall continence rates were 48.1%

at 1 month, 64.8% at 3 months, 74.1% at 6 months, 85.2% at 9 months, and 94.4% at 12 months postoperatively. Patients in the PS-1 group demonstrated significantly higher early continence rates compared with those in the PS-0 group. At 1 month, continence was achieved in 62.9% of PS-1 patients versus 33.3% in PS-0 ( $p=0.032$ ). This difference remained significant at 3 months (77.8% vs 51.9%,  $p=0.049$ ). At later follow-up intervals (6, 9, and 12 months), continence rates continued to favor the PS-1 group numerically; however, these differences did not reach statistical significance ( $p=0.223$ ,  $p=0.456$ , and  $p=0.571$ , respectively).

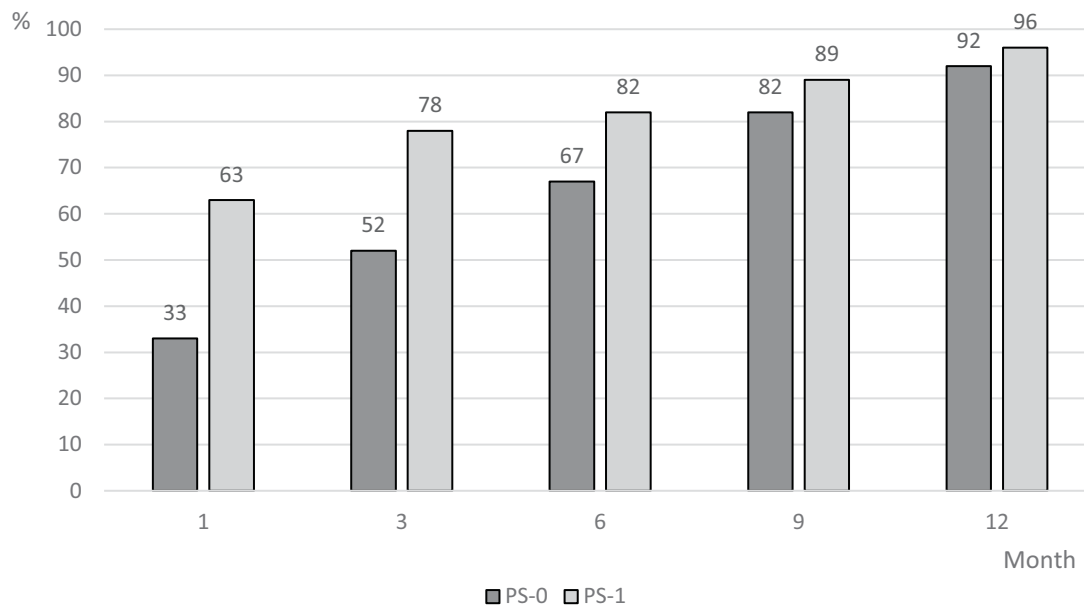


**Fig. 5.** Post-intervention urinary continence outcomes in study groups

## Discussion

Postoperative UC remains an important functional outcome following radical prostatectomy and continues to drive refinements in the understanding of surgical anatomy, dissection strategies, and reconstructive techniques [7]. Despite substantial advances, early UC recovery remains variable, reflecting the complex interplay between sphincteric integrity, periurethral support, and vesicourethral alignment, particularly across different patient subgroups [4]. UC depends on preservation of the bladder neck, MFUL, levator ani muscles, and pubovesical complex, along with the surrounding paraprostatic neurovascular and fascial structures that together form a functional continuum [9,27]. Contemporary studies have shifted the paradigm from viewing UC as the function of an isolated sphincter to recognizing it as the result of an integrated vesicourethral support system [5]. Disruption of the aforementioned structures during surgery may increase urethral mobility and delay functional recovery [22]. Within this framework, successive axial celloidin-embedded sections have provided detailed insight into the morphology and spatial relationships of the circular, longitudinal, and trigonal muscle components at the bladder outlet, demonstrating that ring-like and sling-like structures formed by the circular muscle of the bladder neck play a pivotal role in maintaining proximal urethral stability and closure pressure [12]. Collectively, these anatomical observations provide a mechanistic rationale for extended anatomical preservation, as well as reconstructive and suspension techniques during radical prostatectomy, aimed at re-establishing physiological vesicourethral alignment and support, thereby facilitating early

recovery of UC. [6,9,27]. Numerous reconstructive strategies have been proposed to address this anatomical disruption [1,3,8-11,14,19,22-25,28]. Recent approaches demonstrate improved UC outcomes when total anatomical reconstruction (TAR) is applied [8,19,22].

These findings are supported by meta-analyses, which indicate that total or near-total pelvic floor reconstruction significantly improves short-term continence, with diminishing differences observed during long-term follow-up [26]. Nevertheless, selected techniques have shown sustained benefits. S. Leslie et al. (2023) reported optimization of UC over a 12-month follow-up following application of a bladder neck fascial sling [11]. Suspension sutures have increasingly been conceptualized not as tension-bearing constructs, but rather as positional stabilizers of the vesicourethral junction. Tokas and Nägele emphasized that the efficacy of suspension depends primarily on the direction and vector of lift, favoring anatomical repositioning that restores physiological geometry rather than excessive traction [23]. N.E. Canvasser et al. demonstrated improved early UC following posterior urethral suspension, supporting its role as a continence-facilitating adjunct [3]. These findings are consistent with outcomes reported for male sling procedures used to treat post-prostatectomy stress urinary incontinence, which further underscore the biomechanical importance of posterior urethral support [15,21]. Clinical results from both adjustable and fixed sling systems indicate that restoration of urethral position and angle, rather than increased outlet resistance, is critical for continence recovery [2,20]. In further research, H.D. Kominsky et al. highlighted the importance of posterior support as a shared mechanism for conti-

nence, reporting similar early UC outcomes between Retzius-sparing prostatectomy and posterior urethral suspension, suggesting convergence toward a common biomechanical endpoint [10]. Studies by M.L. Zanoni et al. (2020) and M. Valerio et al. (2023) demonstrated that comprehensive restoration of periurethral anatomy, combined with additional support, resulted in improved early UC outcomes [24,28]. These principles are consistent with the modified PS-VUA technique evaluated in the present study. Despite these encouraging data, K. Atchia et al. reported no significant improvement in early continence following iliopectineal ligament suspension in a randomized controlled trial, highlighting the need for future studies to explore alternative variations of suspensory sutures or reconstruction techniques that may provide more effective posterior urethral support and facilitate earlier recovery of continence [1]. The discrepancies in UC outcomes likely reflect heterogeneity in patients' baseline characteristics, the extent of paraprostatic preservation, suspension techniques, fixation points, and concomitant reconstructions. This study has several limitations, including the relatively small sample size, non-randomized design, single-surgeon experience, and baseline characteristics such as age, PV, and BMI. These factors likely contribute to delayed UC recovery after radical prostatectomy through impaired tissue healing, increased pelvic floor load, and altered urethral angulation [4,7,9,27]. This highlights the potential role of reconstructive and suspension techniques in selected patients to support early functional recovery [1,10,14,24,28]. However, the true impact of additional VUA support remains uncertain, and further studies are needed to clarify its functional benefits and refine patient selection criteria.

## Conclusions

PS-VUA represents a safe and feasible surgical technique that may contribute to improved early UC outcomes following ERP in some groups of patients. Larger cohorts are warranted to validate these findings and to establish potential functional advantages for specific groups of patients.

*No conflict of interests was declared by the authors.*

## References/Література

- Atchia K, Turcotte B, Cazes E, Singbo N, Alhagbani M, Dujardin T. (2024, Nov). Effect of a Modified Technique of Posterior Reconstruction by Iliopectineal Ligament Suspension During Robot-assisted Laparoscopic Radical Prostatectomy on Early Continence: A Randomised Controlled Trial. *Urology*. 193: 116-122.
- Casteleijn NE, Cornel EB. (2021, Mar). Argus-T adjustable male sling: A follow-up study on urinary incontinence and patient's satisfaction. *Neurourology and Urodynamics*. 40(3): 802-809.
- Canvasser NE, Lay AH, Koseoglu E, Morgan MSC, Cadeddu JA. (2016, Oct). Posterior Urethral Suspension During Robot-Assisted Radical Prostatectomy Improves Early Urinary Control: A Prospective Cohort Study. *Journal of Endourology*. 30(10): 1089-1094.
- Di Mauro E, La Rocca R, Di Bello F, Amicuzi U, Reccia P, De Luca L et al. (2025, Mar 7) Technical Modifications Employed in RARP to Improve Early Continence Recovery: A Literature Review. *Life*. 15(3): 415.
- Gyftopoulos K. (2023, June 29). Radical Prostatectomy and Anatomical Controversies: The Urethral Sphincter and the Elusive Continence Mechanisms. *Cancers*. 15(13): 3410.
- Hinata N, Murakami G. (2014). The Urethral Rhabdosphincter, Levator Ani Muscle, and Perineal Membrane: A Review. *BioMed Research International*. 2014: 1-18.
- Hoeh B, Wenzel M, Hohenhorst L, Köllermann J, Graefen M, Haese A et al. (2022, Feb 22). Anatomical Fundamentals and Current Surgical Knowledge of Prostate Anatomy Related to Functional and Oncological Outcomes for Robotic-Assisted Radical Prostatectomy. *Front Surg*. 8: 825183.
- Hurtes X, Rouprêt M, Vaessen C, Pereira H, Faivre d'Arcier B et al. (2012, Sep). Anterior suspension combined with posterior reconstruction during robot-assisted laparoscopic prostatectomy improves early return of urinary continence: a prospective randomized multicentre trial. *BJU International*. 110(6): 875-883.
- Jo SB, Kim JW. (2025, Mar 6). Recent Advances in Radical Prostatectomy: A Narrative Review of Surgical Innovations and Outcomes. *Cancers*. 17(5): 902.
- Kominsky HD, Awad MA, Farhi J, Gahan JC, Cadeddu JA. (2024, Feb 5). Retzius-sparing vs. posterior urethral suspension: similar early-phase post-robotic radical prostatectomy continence outcomes. *J Robot Surg*. 18(1): 64. doi: 10.1007/s11701-023-01754-0. PMID: 38315436.
- Leslie S, Jackson S, Broe M, Van Diepen DC, Stanislaus C, Stefens D et al. (2023, Sep). Improved early and late continence following robot-assisted radical prostatectomy with concurrent bladder neck fascial sling (RoboSling). *BJUI Compass*. 4(5): 597-604.
- Li XM, Yang H, Li DQ, Zhang P, Ma QT, Zhai LD. (2015, Mar). Muscular Structure at the Male Bladder Outlet Examined With Successive Celloidin-embedded Slices. *Urology*. 85(3): 629-635.
- Martini A, Falagario UG, Villers A, Dell'Oglio P, Mazzone E, Autorino R et al. (2020, Oct). Contemporary Techniques of Prostate Dissection for Robot-assisted Prostatectomy. *European Urology*. 78(4): 583-591.
- Moon HW, Rhew SA, Yoon CE, Kwon HJ, Park YH, Lee JY. (2023, Jun 19). Impact of modified bladder neck suspension on early recovery of continence after robot-assisted radical prostatectomy (RARP). *J Robotic Surg*. 17(5): 2279-2285.
- Muctar S, Ende D, Petros P. (2022). Retropubic TFS Minisling for Postprostatectomy Male Incontinence: First Report. *Urol Int*. 106(3): 249-255.
- Nakonechnyi YA. (2025). Intracorporeal square-to-slip knot technique for vesicourethral anastomosis with single-layer anatomical reconstruction and anterior urethral sphincter preservation. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 1(86): 73-78. doi: 10.15574/PS.2025.1(86).7378.
- Nakonechnyi YA, Mytsyk YuO, Borzhievskiy ATs. (2024). PCA3 score prognostic value for identifying postoperative ISUP grades 4-5 in localized peripheral zone prostate cancer with a posterior tumor growth dominant pattern. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 4(85): 65-70. doi: 10.15574/PS.2024.4(85).6570.
- Nakonechnyi YA, Mytsyk YuO, Nakonechnyi AY, Borzhievskiy ATs. (2025). Personalized preservation extraperitoneoscopic radical prostatectomy in high-risk prostate cancer patients. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 3(88): 87-94. doi: 10.15574/PS.2025.3(88).8794.
- Porpiglia F, Bertolo R, Manfredi M, De Luca S, Checcucci E, Morra I et al. (2016, Mar). Total Anatomical Reconstruction During

## Original articles. Urology and gynecology

- Robot-assisted Radical Prostatectomy: Implications on Early Recovery of Urinary Continence. *European Urology*. 69(3): 485-495.
20. Rahnama'i MS, Marcelissen T, Geavlete B, Tutolo M, Hüscher T. (2021, Apr 9). Current Management of Post-radical Prostatectomy Urinary Incontinence. *Front Surg*. 8: 647656.
21. Soljanik I, Solyanik O, Stief CG, Bauer RM, Becker AJ, Gozzi C et al. (2015, Feb). The extent of changes in the membranous urethra angle is associated with the outcome of retrourethral transobturator sling procedure. *Int Urol Nephrol*. 47(2): 249-255.
22. Tan G, Srivastava A, Grover S, Peters D, Dorsey P, Scott A et al. (2010, Dec). Optimizing Vesicourethral Anastomosis Healing After Robot-Assisted Laparoscopic Radical Prostatectomy: Lessons Learned from Three Techniques in 1900 Patients. *Journal of Endourology*. 24(12): 1975-1983.
23. Tokas T, Nagele U. (2017, Dec). The suspension sutures during minimally invasive radical prostatectomy. *World J Urol*. 35(12): 1987-1988.
24. Valerio M, Diamand R, Grilo N, Van Velthoven R. (2023, Jun). Antero-posterior reconstruction during robot-assisted radical prostatectomy: The VV technique. *Urology Video Journal*. 18: 100228.
25. Vis AN, Van Der Poel HG, Ruiters AEC, Hu JC, Tewari AK, Rocco B et al. (2019, Dec). Posterior, Anterior, and Periurethral Surgical Reconstruction of Urinary Continence Mechanisms in Robot-assisted Radical Prostatectomy: A Description and Video Compilation of Commonly Performed Surgical Techniques. *European Urology*. 76(6): 814-822.
26. Wu YP, Xu N, Wang ST, Chen SH, Lin YZ, Li XD et al. (2017, Dec). The efficacy and feasibility of total reconstruction versus nontotal reconstruction of the pelvic floor on short-term and long-term urinary continence rates after radical prostatectomy: a meta-analysis. *World J Surg Onc*. 15(1): 228.
27. Yu Y, Reiter RE, Zhang M. (2025, Jun). Surgical techniques for enhancing postoperative urinary continence in robot-assisted radical prostatectomy: a comprehensive review. *International Journal of Surgery*. 111(6): 3931-3941.
28. Zanon ML, Grizzi F, Maffei D, Vota P, Frego N, Toia G et al. (2021, Jul). Retrotrigonal muscular layer sling associated with total anatomical reconstruction in robot-assisted radical prostatectomy and early continence. *World J Urol*. 39(7): 2475-2481.

### Відомості про автора:

**Наконечний Йосиф Андрійович** – PhD, доц. каф. урології ФПДО, ДНП «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького». Адреса: м. Львів, вул. Пекарська, 69; тел.: +38 (032) 275-76-32. <https://orcid.org/0000-0002-6872-1889>

Стаття надійшла до редакції 23.09.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.

УДК 616.62-008.22+616.34-009-053.2-07+616.007-053.1

О.Д. Фофанов, В.О. Фофанов, О.Я. Матіяш, М.В. Глагович

## Результати хірургічного лікування аноректальних мальформацій у дітей

Івано-Франківський національний медичний університет, Україна

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 83-92. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).8392

**For citation:** Fofanov OD, Fofanov VO, Matiyash OY, Glagovych MV. (2025). Results of surgical treatment of anorectal malformations in children. Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 83-92. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).8392.

Проблема лікування аноректальних мальформацій (АРМ) у дітей залишається актуальною, що зумовлено високою частотою АРМ, поєднанням з іншими вадами розвитку і значною кількістю функціональних порушень, які виникають в оперованих дітей.

**Мета** – вивчити безпосередні та віддалені результати лікування дітей з АРМ; удосконалити корегування післяопераційних ускладнень.

**Матеріали і методи.** Проведено обстеження і лікування 37 дітей, оперованих із приводу АРМ (18 хлопчиків і 19 дівчаток). Крім загальноклінічних методів обстеження, проведено аноскопію і ректоскопію в оперованих дітей, дослідження за допомогою міотестера, трансанальне ультразвукове дослідження. Тяжкість анальної інконтиненції (АІ) визначено за Клівлендською шкалою. Якість життя (ЯЖ) в оперованих дітей вивчено шляхом анкетування.

**Результати.** Ранні післяопераційні ускладнення після різних етапів лікування, які потребували повторної операції, виникли в 5 (13,51%) дітей. Добрі функціональні результати корегування АРМ були у 23 (62,16%) пацієнтів; задовільні – у 13 (35,14%) дітей, незадовільні – в 1 (2,7%) дитини. Найпоширенішими віддаленими функціональними порушеннями в оперованих дітей були АІ різного ступеня (від незначного каломазання до значного нетримання калу), яку виявили в 14 (37,84%) хворих, закреп – у 9 (24,32%) дітей. Ці хворі отримували комплексне лікування, яке передбачало програму управління кишечником і мініінвазивне хірургічне корегування недостатності анальних сфінктерів із застосуванням об'ємоутворюючого гелю.

**Висновки.** Загальна частота ранніх післяопераційних ускладнень у дітей, прооперованих із приводу АРМ, становила 13,51%. Віддалені функціональні порушення товстої кишки і відхідника різного ступеня тяжкості виникли в 62,16% хворих. Найчастішими віддаленими функціональними порушеннями в оперованих дітей були АІ і післяопераційний закреп. Застосування комплексу лікування і профілактики вказаних порушень сприяло достовірному поліпшенню контролю дефекації та ЯЖ хворих.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол схвалено місцевим етичним комітетом. Отримано інформовану згоду батьків дітей.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** аноректальні мальформації, хірургічне лікування, профілактика, ускладнення, функціональні результати, анальна інконтиненція, новонароджені діти.

### Results of surgical treatment of anorectal malformations in children

O.D. Fofanov, V.O. Fofanov, O.Y. Matiyash, M.V. Glagovych

Ivano-Frankivsk National Medical University, Ukraine

The problem of treating anorectal malformations (ARM) in children remains relevant, which is due to their high frequency, combination with other developmental defects, and a significant number of functional disorders that occur in operated children.

**Aim** – to study the immediate and long-term results of treatment of children with ARM and improve the correction of postoperative complications.

## Original articles. Coloproctology

**Materials and methods.** Examination and treatment of 37 children operated on for ARM, 18 boys and 19 girls, were conducted. In addition to general clinical examination methods, anoscopy and rectoscopy were performed in operated children, examination using a myotester, and transanal ultrasound. The severity of fecal incontinence (FI) was determined by the Cleveland scale. The study of quality of life (QoL) in operated children was carried out by questionnaire.

**Results.** Early postoperative complications after various stages of treatment, requiring reoperation, occurred in 5 children (13.51%). Good functional results of ARM correction were in 23 patients (62.16%); satisfactory in 13 children (35.14%) and unsatisfactory in one child (2.7%). The most common long-term functional disorders in operated children in the long-term period were FI of various degrees (from minor fecal smearing to significant fecal incontinence), which was detected in 14 patients (37.84%) and constipation 9 children, 24.32%. These patients received a complex of treatment, which included a bowel management program and minimally invasive surgical correction of anal sphincter insufficiency using a bulk-forming gel.

**Conclusions.** The total frequency of early postoperative complications in children operated on for ARM was 13.51%. Remote functional disorders of the colon and rectum of varying severity occurred in 62.16% of patients. The most frequent remote functional disorders in operated children were FI and postoperative constipation. The use of a complex of treatment and prevention of these disorders led to a significant improvement in defecation control and QoL of patients.

The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki. The protocol was approved by the local ethics committee. Written informed consent was obtained from the children's legal guardians.

The authors declare no conflict of interest.

**Keywords:** anorectal malformations, surgical treatment, prevention, complications, functional results, anal incontinence, newborns.

## Вступ

У структурі вродженої обструктивної патології дистальних відділів травного тракту в дітей вагоме місце посідають аноректальні мальформації (АРМ), які являють собою велику групу вроджених вад, що охоплюють задній прохід, пряму кишку й уrogenітальні органи. Їхній спектр дуже різноманітний – від невеликих аномалій до складних комплексних вад розвитку, які включають різні системи. Частота АРМ коливається в межах від 1:3000 до 1:5000 новонароджених дітей, дещо частіше трапляються в хлопчиків. Найчастіше (близько 85%) бувають аноректальні агенезії, особливо їхні норичні форми [14,24]. У хлопчиків найпоширеніша АРМ – аноректальна агенезія з ректоуретральною норицею, у дівчаток – агенезія з ректовестибулярною фістурою. До рідкісних АРМ належать безноричні форми аноректальної агенезії, ізольована ректовагінальна нориця в дівчат, атрезія чи стеноз прямої кишки. Безноричні форми аноректальної агенезії часто поєднуються із синдромом Дауна [3,15,16,22].

Проблема лікування АРМ залишається актуальною, що зумовлено їхньою високою частотою, поєднанням з іншими вадами розвитку і значною кількістю незадовільних результатів хірургічного корегування. Незважаючи на великий досвід у проведенні проктопластик, частота незадовільних результатів первинних хірургічних втручань залишається високою в різних клініках світу і становить від 25% до 70% [5,16,23].

Вибір методу корегування АРМ залежить від багатьох факторів, зокрема, від висоти агенезії, її типу, ступеня недоношеності дитини, наявності поєднаних аномалій тощо. Відомо, що високі форми АРМ

завжди поєднуються з порушенням розвитку сфінктерного апарата: пуборектальний м'яз недорозвинутий і зміщений дореду; зовнішній анальний сфінктер часто гіоплазований з відсутністю передніх жмутьків; внутрішній анальний сфінктер відсутній разом із відхідником, слизова оболонка якої нижча за зубчасту лінію, у нормі містить велику кількість чутливих рецепторів. Хірургічне лікування АРМ у дітей потребує чіткої анатомічної і фізіологічної деталізації об'єктів не тільки ураженої частини прямої кишки, але й тазових структур, особливо елементів тазового дна і промежини [3,16].

На сьогодні виживання дітей, оперованих із приводу АРМ, наближається до 100%. Однак результати лікування не завжди задовольняють хірургів. Віддалені функціональні результати хірургічного лікування залежать від багатьох факторів, зокрема, від складності вади, своєчасності й адекватності хірургічного лікування, наявності до- і післяопераційних ускладнень.

Найважливіші показники функціональної ефективності оперативного лікування залишаються не цілком задовільними: регрес клініки товстокишкового стазу не відбувається в 16–34% хворих, АІ розвивається в 36–75% дітей. Порушення контролю дефекації спостерігається у 53–89% хворих, у більшості з них ці проблеми залишаються в підлітковому періоді [4,25]. Довгострокові функціональні результати лікування в пацієнтів з АРМ залежать від анатомії вродженої вади і функціонування механізму дефекації після реконструкції. Як правило, у пацієнтів із легкими формами АРМ результат добрий і згодом адекватний контроль дефекації. Лише деякі з таких хворих потребують консервативного ліку-

вання для корегування закрепів. У багатьох пацієнтів зі складнішими дефектами немає адекватного контролю кишечника, незважаючи на тривале лікування і реабілітацію. У таких хворих залишаються серйозні функціональні проблеми, що варіюють від стійкого, вираженого закрепа до повного нетримання калу.

Причини післяопераційного закрепу після аноректопластики (АРП) можуть бути механічними і функціональними. Основною механічною причиною є післяопераційний стеноз неоануса або, рідше, аноректальний стеноз. Частота цього ускладнення різна – від 3% до 22% [13,23]. Причиною рубцевого анального стенозу може бути порушення техніки мобілізації та зведення прямої кишки з вираженою деваскуляризацією останньої. Надмірне натягнення прямої кишки, ретракція її після АРП також призводять до рубцевого стенозу, особливо в разі загоєння рани вторинним натягом. До рубцевого стенозу можуть призвести також інфекційні запальні ускладнення в ділянці післяопераційної рани [10,12].

Деякі автори наводять дані про значне зростання частоти післяопераційного стенозу неоануса в разі застосування лапароскопічно асистованого підходу (до 30–50%). Пояснюють це створенням недостатньо широкого тунелю для зведення прямої кишки. Тому звуження спостерігається не тільки на рівні слизово-шкірного переходу, але й значно проксимальніше. Незважаючи на удосконалення техніки (створення більш широкого тунелю), частота післяопераційного стенозу залишається на рівні 30%. Це змусило деяких хірургів відмовитися від сфінктер-ощадливого підходу (лапароскопічно асистовані операції) на користь класичної задньої сагітальної АРП (ЗСАРП) за А. Ренна, яка витримала випробування часом і дає кращі функціональні результати [10,19].

Частішою причиною розвитку післяопераційної обструкції в дітей, оперованих із приводу АРМ, є порушення моторики ректосигмоїдної ділянки. У більшості дітей з АРМ, які перенесли ЗСАРП, особливо при низьких формах, спостерігається патологічне розширення прямої і сигмоподібної кишки (мегаректосигмоїд). Це призводить до ослаблення перистальтичних скорочень ректосигмоїдного відділу. Відомо, що мимовільні перистальтичні скорочення ректосигмоїдного відділу є важливим елементом спорожнення прямої кишки. При мегаректосигмоїді перистальтичні рухи істотно пригнічені, хоча іннервація цих кишок не порушена, в їхніх стінках виявляються нормальні гангліозні

клітини. Основним клінічним проявом цього є стійкий закреп, обтурація ділянки мегаректум твердим калом. Дуже часто це супроводжується нетриманням калу (псевдоінконтиненція) [11,12,17].

Поширеною причиною АІ після хірургічного корегування АРМ є недорозвинені м'язові структури тазового дна, які забезпечують закриття анального кільця зусиллям волі дитини, коли кал накопичується в прямій кишці. До них належать *m. levator ani*, м'язовий комплекс і парасагітальні волокна. При АРМ ці м'язові структури недорозвинуті, ступінь їхнього недорозвитку різний при різних видах вад, найбільше уражені вони при високих формах АРМ. Також вони можуть бути ураженими в результаті операції АРП. Тому в більшості випадків вольове утримання калу в таких пацієнтів неможливе або різко пригнічене [11,17].

Важливим елементом процесу утримання калу є відчуття потрапляння калу в пряму кишку та її розтягнення. Рецептори, що забезпечують це відчуття, у нормі розташовані в анальному каналі. При більшості АРМ анальний канал відсутній. Тому в дітей, прооперованих із приводу АРМ, немає нормального відчуття потрапляння калу в пряму кишку та її розтягнення. Деякою мірою оперована дитина з АРМ може відчувати розтягнення прямої кишки в разі накопичення в ній калу через розтягнення м'язових структур тазового дна, якщо пряма кишка була зведена точно в межах цих структур. Клінічним значенням таких порушень є те, що пацієнти не відчувають накопичення в прямій кишці рідкого або м'якого калу, тому не утримують його. Твердий кал хворі утримують краще [2,11,17].

Ще однією важливою причиною розвитку АІ в дітей, оперованих із приводу АРМ, є порушення моторики ректосигмоїдної ділянки. У більшості дітей з АРМ, які перенесли ЗСАРП, особливо при низьких формах, спостерігається мегаректосигмоїд. Основним клінічним проявом цього є стійкі закрепи. Причиною нетримання калу в таких дітей є обтурація мегаректум твердим калом (несправжня АІ) [7,11,17].

Будь-який варіант стійких порушень дефекації призводить до погіршення ЯЖ дитини. Порушення акту дефекації, незалежно від його причини, формує низку складних психологічних і медико-соціальних проблем, які відбиваються на моральному і фізичному стані дітей, унаслідок чого виникає зниження ЯЖ в особовому, комунікативному аспекті, як у родині, так і в дитячому колективі, що значно обмежує ігрову, навчальну і спортивну діяльність [7–9,14,21].

**Мета** дослідження – вивчити безпосередні та віддалені результати лікування дітей з АРМ; удосконалити корегування післяопераційних ускладнень.

### Матеріали і методи дослідження

На базі клініки дитячої хірургії Івано-Франківського національного медичного університету проведено клінічне обстеження і лікування 37 дітей, оперованих із приводу АРМ. Розподіл за статтю був рівномірним (18 хлопчиків і 19 дівчаток). Первинні операції в більшості хворих проведено в періоді новонародженості (26 (70,27%) хворих), 8 (21,62%) хворих оперовано у віці 1 місяць – 1 рік, лише 3 (8,1%) дитини прооперовано у віці від 1 року.

Хворих обстежено відповідно до клінічних протоколів лікування і сучасних гайдлайнів із лікування АРМ та їхніх ускладнень. Усім хворим виконано загальноприйняті клінічні, лабораторні й інструментальні дослідження. З урахуванням патології обстежених дітей у комплекс діагностичних досліджень введено: ультразвукове дослідження органів черевної порожнини і заочеревинного простору, ехокардіографію, нейросонографію, рентгенологічне обстеження (оглядову рентгенографію органів черевної порожнини та грудної клітки, контрастне дослідження шлунково-кишкового тракту, іригоскопію/скопію, інвертографію, фістулографію, дистальну колоноскопію).

Збираючи скарги та анамнез, звернено увагу на час виникнення перших симптомів післяопераційних ускладнень, швидкість прогресування, проведені раніше методи дослідження та лікування, їхню ефективність. Звернено увагу на характер дефекації (самостійна або стимульована за допомогою клізми, газовідвідної трубки, медикаментів), її частоту, чи не супроводжується больовими відчуттями. З'ясовано в батьків про характер калу в дитини (консистенцію, колір, наявність патологічних домішок), чи не було епізодів obturatorної прямої кишки копролітами. Характер калу оцінено за Бристольською шкалою форми калу. Також зібрано інформацію про наявність здуття живота, блювання, характер харчування дитини, динаміку маси тіла, супутню патологію. Звернено увагу на характер утримання калу: утримання газів, густого або рідкого калу. Тяжкість АІ в оперованих дітей оцінено за Клівлендською шкалою [20].

Під час об'єктивного обстеження хворих звернено увагу на колір і тургор шкіри, масу тіла, відповідність фізичного і психомоторного розвитку до віку дитини. Оцінено форму живота, під час пальпації

звернено увагу на переповненість товстої кишки густим калом, наявність копролітів. Виходячи з характеру патології, велику увагу приділено огляду промежини, заднього проходу і періанальної ділянки. Оцінено стан анального кільця (зімкнене або зяюче), наявність рубцевого звуження або деформації. Визначено стан анодерми та шкіри періанальної ділянки (наявність рубців, мацерації). Велику увагу приділено пальцевому ректальному дослідженню. При цьому оцінено тонус, еластичність неоануса, можливість його розтягування, форму прямої або зведеної товстої кишки, вміст кишки. У дітей віком до 1 року замість пальцевого ректального огляду проведено дослідження за допомогою розширювачів Гегара, при цьому оцінено прохідність ануса і прямої кишки, проведено їхнє калібрування. Також оцінено анальний рефлекс у дітей.

Усім хворим до і після лікування проведено аноскопію і ректоскопію. Застосовано ректоскоп із волоконним світловодом РЕД-ВС-13/16 (Україна). Під час аноскопії оглянуто анодерму та слизову анального каналу. У попередньо оперованих дітей звернено увагу на наявність рубцевого звуження або зяяння анального кільця, на наявність гребінцевої лінії та її стан. Оглянуто слизову прямої кишки, за наявності стенозу намагалися пройти ректоскопом вище ділянки звуження, оцінено його ступінь, протяжність і ригідність. Візуальну оцінку скорочення зовнішнього анального сфінктера (ЗАС) і *m. levator ani* оперованим дітям проведено з використанням міотестера, який застосовували під час АРП. При цьому оцінено наявність циркулярного скорочення навколо анального отвору, вираженість і симетричність скорочення.

Трансанальне ультразвукове дослідження виконано оперованим дітям для оцінювання стану анальних сфінктерів і хворим із післяопераційним стенозом для візуалізації ехо-структури стінки кишки в ділянці неоануса і параректальних тканин. Застосовано ультразвуковий сканер «Siemens Acuson 2000» з ректальним датчиком ER7B, що працює з частотою 5/7 mHz.

Якість життя пацієнтів, оперованих із приводу АРМ, оцінено шляхом анкетування дітей та їхніх батьків. Використано розроблену нами специфічну для хвороби Гіршпрунга та АРМ анкету ЯЖ, яка дає змогу сукупно і всебічно оцінити порушення функціональних результатів хірургічного лікування та пов'язані з цим порушення ЯЖ у дітей [7,8]. Шкала складається з двох частин. У першій частині відображено паспортні, соціально-демографічні й клінічні дані пацієнта. У другій (основній) частині наведено

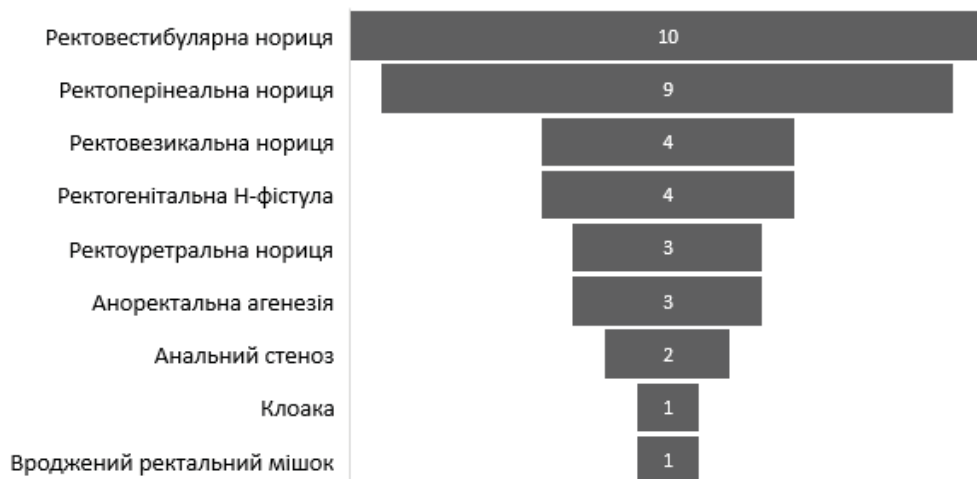


**Рис. 1.** Розподіл хворих за видом аноректальних мальформацій (абс.)

37 запитань. Кожна відповідь містить чотири варіанти залежно від частоти симптому, який трапляється в дитини. Частоту симптому оцінено за чотирма рівнями, кожен з яких відповідає певним балам: «ніколи» – 3 бали, «інколи» – 2 бали, «часто» – 1 бал, «дуже часто» – 0 балів. Опитування батьків і пацієнтів здійснено дослідником, який пояснював суть запитання, оцінював його в балах і вносив результат до шкали.

Опитування для виявлення рівня ЯЖ проведено дітям віком від 6 років. Запитання шкали стосувалися періоду протягом одного місяця до дослідження. Після підрахунку загальної суми балів за результатами опитування кожного пацієнта оцінено рівень порушення функцій після операції та ЯЖ. Сума балів – від 0 до 111. Чим вища сума балів у дитини – тим кращі післяопераційні функції та ЯЖ. Сума балів у межах 106–111 вказувала на відсутність порушення ЯЖ. У хворих, оперованих із приводу АРМ, виділено чотири ступені порушення ЯЖ: легкий – при сумі балів 74–105, середньої тяжкості – при сумі балів 38–73, тяжкий – при сумі балів 10–37, дуже тяжкий – 0–9 балів.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол дослідження ухвалено локальним етичним комітетом Івано-Франківського національного медичного університету. На проведення досліджень отримано інформовану згоду батьків дітей (або їхніх опікунів).

### Результати дослідження та їх обговорення

У 19 (51,35%) хворих виявили низькі (інфравезаторні) форми АРМ, у 8 (21,62%) дітей – високі (суправезаторні) форми, у 10 (27,03%) пацієнтів – проміжні (інтралезаторні) форми АРМ. Найчастішим варіантом вад у дівчаток була ректовестибулярна



**Рис. 2.** Дистальна колостографія в дитини М. (вік 4 місяці) із високою аноректальною агенезією. Контраст потрапив через норицю в сечовий міхур, а звідти – у ниркову миску праворуч (вказано стрілками). Дослідження дало змогу діагностувати не тільки ректовезикальну норицю, але й інфравезикальну обструкцію і міхурово-сечовідний рефлюкс праворуч

## Original articles. Coloproctology

**Таблиця 1**

Розподіл хворих з аноректальними мальформаціями за видом хірургічного лікування і способом операції, абс. (%)

| Спосіб операції                         | Вид хірургічного лікування          |                                     | Усього (n=37) |
|-----------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------|
|                                         | первинна радикальна операція (n=14) | 3-етапна хірургічна корекція (n=23) |               |
| Роздільна сигмостомія                   | -                                   | 11 (47,83)                          | 11 (29,73)    |
| Кінцева сигмостомія                     | -                                   | 12 (52,17)                          | 12 (32,43)    |
| ПСАРП                                   | 4 (28,57)                           | 9 (39,13)                           | 13 (35,14)    |
| ЗСАРП                                   | 7 (50,0)                            | 8 (34,78)                           | 15 (40,54)    |
| ЗСАРП з інтраабдомінальною мобілізацією | -                                   | 5 (21,74)                           | 5 (13,51)     |
| Висічення нориці                        | 3 (21,43)                           | 1 (4,35)                            | 4 (10,81)     |
| Закриття стоми                          | -                                   | 23 (100)                            | 23 (62,16)    |

нориця (10 (27,03%) хворих), у хлопчиків – ректоперінеальна нориця 6 (16,22%) дітей). У переважній більшості (32 (86,49%) хворих) відзначили норичні форми АРМ, а безноричні форми – у решти 5 (13,51%) дітей (рис. 1).

Антенатально АРМ діагностували лише у 2 (5,4%) випадках, це були хворі з аноректальною агенезією. Постнатальне діагностування здебільшого не викликало труднощів. У 30 (81,08%) дітей діагноз встановили на підставі ретельного зовнішнього огляду ділянки промежини. При цьому отримали важливу інформацію і про висоту АРМ за характером нориць та відстанню між сідничними горбами, зовнішнім видом промежини. При високих формах АРМ не виявили зовнішніх нориць, відзначили зменшення відстані між сідничними горбами, сплюснення і недорозвиток промежини. Нерідко виявляли агенезію куприка або крижової кістки, інфантилізм зовнішніх статевих органів. Зовнішні нориці досліджували за допомогою зонда. Для уточнення висоти АРМ застосовували ультразвукове дослідження промежини або рентгенологічне дослідження.

Серед 4 (10,81%) дівчаток із ректогенітальними Н-фістулами в 3 дітей діагностували ректовестибулярну, а в 1 дитини – ректовагінальну фістулу. Ректовестибулярну норицю діагностували у віці до 1 року, ректовагінальну фістулу – у віці від 2 років. У цих хворих спостерігали виділення рідких порцій калу і газів зі статевої щілини, явища вульвовагініту. Серед діагностичних методів застосовували фістулографію та дослідження нориці з використанням барвника (метиленового синього).

Діагностування нориць у сечові шляхи хлопчиків було досить складним, що пов'язано з малим діаметром цих нориць і безсимптомним перебігом. Уретральну норицю діагностували інтраопераційно, під час АРП (в 1 дитини була нориця в простатичну частину уретри, у 2 – у бульбарну частину). Ректове-

зикальну норицю виявили в 4 (10,81%) хлопчиків із високими формами АРМ. Під час діагностування застосовували дистальну колостографію під високим тиском, яку провели після накладання роздільної колостоми, до АРП. Слід зауважити, що цей метод дослідження дуже важливий не тільки для діагностування нориць, але й для уточнення анатомічних особливостей вади перед проведенням АРП. Лікарі провели це дослідження усім хворим із роздільною колостою перед II етапом хірургічного корегування, що дало змогу правильно спланувати тактику операції, а також виявити супутні вади розвитку сечової системи (рис. 2).

У 2 (5,41%) хлопчиків виявили анальний стеноз III ступеня, при цьому з ануса виділялися лише сліди меконію. У дітей відзначили симптоми низької кишкової непрохідності, тому виникла потреба провести невідкладне хірургічне втручання. В 1 дівчинки була персистуюча клоака з довжиною спільного каналу понад 3 см. В 1 хлопчика АРМ була компонентом синдрому Курраріно: аноректальна агенезія з ректоперінеальною норицею, множинні пресакральні пухлини і аномалія куприка.

Характер первинного хірургічного втручання в дітей з АРМ залежав від виду вади та наявності доопераційних ускладнень. Первинну операцію виконали 20 (54,05%) дітям в ургентному порядку. У плановому порядку прооперували решту 17 (45,95%) хворих із ректовестибулярною норицею, ректогенітальною Н-фістулою, клоакою, 2 (5,41%) дитини з широкою ректоперінеальною норицею, у яких не відзначили явищ повної кишкової непрохідності.

Етапне хірургічне лікування виконали 23 (62,16%) дітям із високими та інтралеваторними формами АРМ. Хірургічне лікування почали з накладання кишкової стоми, другим етапом була ЗСАРП або передня сагітальна АРП (ПСАРП), третім – закрит-

тя колостоми. Вид стоми залежав від характеру АРМ: за наявності зовнішньої широкої нориці виконали кінцеву сигмостомію (12 (32,43%) хворих), в інших випадках – роздільну сигмостомію (11 (29,73%) дітей). Накладання стоми 12 (32,43%) дітям провели за власним, мініінвазивним способом. Стому наклали на мобільну петлю сигмоподібної кишки. При високих формах АРМ стоми наклали на проксимальну частину сигмоподібної кишки.

Реконструктивні операції (другий етап хірургічного лікування) провели у віці від 3 до 6 місяців. ЗСАРП виконали 13 (35,14%) дітям, серед них 5 (13,51%) дітям із надлеваторними формами АРМ провели ЗСАРП з інтраабдомінальною мобілізацією сигмоподібної та прямої кишок і ліквідацією нориць. 1 (2,7%) дівчинці з ізольованою ректовагінальною норицею провели висічення нориці. 9 (24,32%) дітям провели ПСАРП за Р. Mollard. Передній сагітальний доступ застосували в дівчаток із ректovesтибулярною норицею. Відзначили низку переваг цього доступу: збереження інтрамуральної іннервації прямої кишки; збереження цілісності ЗАС і лонно-прямокишкового м'яза; неущокожений анодерм, що забезпечує ректальну чутливість.

Третій етап хірургічного корегування (закриття стоми) виконали в терміни від 1,5 до 3,5 місяця після АРП, медіана – 2,0 місяця. Усім хворим наклали однорядні міжкишкові анастомози безперервним серозно-м'язово-підслизовим швом. У 6 (16,22%) хворих застосували адаптувальні анастомози у зв'язку із суттєвою різницею діаметрів привідного і відвідного кінців сигмоподібної кишки. Дітям із низькими формами АРМ (14 (37,84%) хворих) провели первинні радикальні реконструктивні операції – ЗСАРП 7 (18,92%) дітей або ПСАРП 4 (10,81%) дитини). Висічення нориць виконали 3 (8,11%) дітям із вродженими ізольованими ректovesтибулярними норицями (табл. 1).

Загальна частота ускладнень за матеріалами великих спеціалізованих стаціонарів, які мають великий досвід лікування дітей з АРМ, становить від 22,7% до 40,4% [14,22,24]. Усі хворі, прооперовані з приводу АРМ у клініці дитячої хірургії Івано-Франківського національного медичного університету, одужали після хірургічного лікування. Ранні



**Рис. 3.** Ригмограма дитини К., віком 7 років, оперований із приводу аноректальної мальформації (ректоуретральна нориця). Патологічне розширення прямої і сигмоподібної кишки за відсутності стенозу неоануса

післяопераційні ускладнення після різних етапів лікування виникли в 5 (13,51%) дітей (табл. 2), у 2 із них був пролапс прямої кишки, по 1 хворому – рання спайкова кишкова непрохідність, розходження швів промежини, реканалізація ізольованої ректовагінальної нориці.

Повторні операції, зумовлені ускладненнями, провели 5 (13,51%) дітям: адгезіолізис 1 дитина), пластику рани промежини 1 дитина), резекцію надлишку прямої кишки з повторною анопластиком 2 хворих), операцію з приводу реканалізації ректовагінальної нориці 1 пацієнтка). Цій дитині провели операцію у власній модифікації – для запобігання повторної реканалізації нориці провели її висічення і трансанальне ендоректальне зведення прямої кишки.

У подальшому вивчили віддалені функціональні результати хірургічного корегування АРМ. При цьому добрим результатом вважали повну відсутність порушень будь-яких функцій травного тракту.

**Таблиця 2**

Результати хірургічного лікування дітей з аноректальними мальформаціями

| Кількість хворих | Ранні ускладнення | Повторні операції | Функціональні результати |            |              |
|------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|------------|--------------|
|                  |                   |                   | добрі                    | задовільні | незадовільні |
| Абс.             | 5                 | 5                 | 23                       | 13         | 1            |
| %                | 13,51             | 13,51             | 62,16                    | 35,14      | 2,7          |

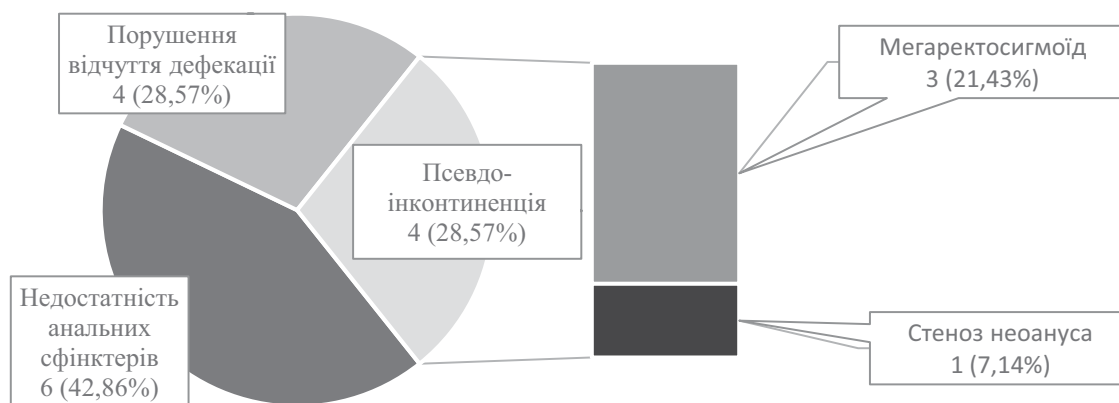


Рис. 4. Структура причин анальної інконтиненції в дітей, оперованих із приводу аноректальних мальформацій

Задовільним вважали результат лікування в разі порушень окремих функцій, наявності ускладнень хірургічного корегування, повторних операцій із приводу ускладнень. Незадовільним вважали результат при стійких порушеннях функцій травного тракту, рецидивах обструкції травного тракту або смерті від пізніх ускладнень. Функціональні результати корегування АРМ такі (табл. 2): добрий результат – у 23 (62,16%) пацієнтів; задовільний – у 13 (35,14%) дітей; незадовільний результат – в 1 (2,7%) дитини.

За даними багатьох авторів, основними проблемами, які виникають в оперованих із приводу АРМ дітей у віддаленому періоді, є стійкі порушення дефекації, що проявляються у вигляді закреп або АІ, а також їхнього поєднання [1,5,11]. За отриманими нами даними, найпоширенішими функціональними порушеннями в оперованих дітей у віддаленому періоді були АІ різного ступеня (від незначного каломазання до значного нетримання калу), яку виявили в 14 (37,84%) хворих, закреп – у 9 (24,32%) дітей, а також поєднання обструкції товстої кишки і нетримання калу (псевдоінконтиненція) – у 5 (13,51%) хворих. Лише в 1 (2,7%) хворого закреп був пов'язаний із післяопераційним стенозом неоануса, в інших 8 (21,62%) дітей механічна прохідність не була порушена, а закреп був пов'язаний із порушенням моторики ректосигмоїдного відділу товстої кишки на тлі мегаректосигмоїду (рис. 3).

За даними деяких авторів, близько 30–50% пацієнтів з АРМ можуть мати певний ступінь нетримання калу в дитячому, підлітковому і дорослому віці. Зазвичай це впливає на подальшу професійну, соціальну, емоційну, спортивну та сексуальну сфери і може призвести до психічних розладів із втратою індивідуальної незалежності [4,18,21]. Отримані нами дані цілком це підтверджують.

Причини АІ в оперованих дітей були різноманітними (рис. 4). Справжню АІ спостерігали в 10 (71,43%) хворих, із них у 6 (42,86%) дітей, оперованих із приводу високих форм АРМ. Серед 10 хворих зі справжньою АІ в 4 (28,57%) виявили порушення дефекації, у 6 (42,86%) – недостатність анальних сфінктерів. При цьому в усіх 6 хворих не відзначили внутрішнього анального сфінктера і виявили знижену функцію зовнішнього анального сфінктера.

Слід зауважити, що недостатність м'язів тазового дна та сфінктерного апарата була в більшості дітей з АРМ. Однак у частини дітей вона компенсувалася іншими механізмами утримання калу. Псевдоінконтиненцію виявили в 4 (28,57%) дітей, лише в 1 (7,14%) випадку вона була зумовлена стенозом неоануса, у 3 (21,43%) хворих АІ спостерігалася внаслідок наявності мегаректосигмоїду.

Усі хворі, у яких були віддалені післяопераційні ускладнення і порушення дефекації (АІ, закреп), отримували відповідне лікування з приводу цих ускладнень. Серед них 14 (37,84%) дітей пролікували консервативно, згідно з програмою управління кишечником (відповідна дієта, медикаментозне лікування, тривала програма клізм). В 1 (2,7%) дитини з післяопераційним стенозом неоануса ефективними були повторні курси бужування в комбінації з місцевим застосуванням кортикостероїдів.

Хірургічне лікування при справжній АІ проводили за неефективності консервативного. Дітей зі справжньою АІ, у яких були ушкодження анальних сфінктерів (6 (16,22%) випадків), пролікували хірургічно (мініінвазивне корегування недостатності анальних сфінктерів із використанням об'ємоутворюючого гелю). За даними деяких авторів, показан-

нями до хірургічного лікування при справжній АІ може бути дистопія неоануса (формування його поза м'язовим комплексом) при аноректопластиці, а також наявність пролапса прямої кишки [15,16]. Серед обстежених нами дітей таких ускладнень не спостерігали. Також серед хворих із псевдоінконтиненцією, оперованих із приводу АРМ, показанням до хірургічного лікування може бути мегаректосигмоїд [17]. Серед пролікованих нами хворих було 3 (8,1%) дитини, у яких причиною АІ був мегаректосигмоїд. Однак у цих дітей отримали добрий результат від консервативного лікування згідно програми управління кишечником, тому показань до хірургічного лікування не було. Дітей з повною дистопією неоануса не було.

Рівень ЯЖ у 28 (73,68%) оперованих із приводу АРМ дітей (усіх хворих, які з'являлися на повторні огляди) вивчили шляхом опитування анкетой НАQL у власній модифікації [7,8]. У 8 (28,57%) дітей не виявили порушення ЯЖ, у 15 (53,57%) пацієнтів відзначили порушення легкого ступеня, у 4 (14,29%) хворих – порушення середньої тяжкості, лише в 1 (3,57%) хворого – порушення важкого ступеня. Тяжкість порушення ЯЖ залежала від форми АРМ і наявності до- і післяопераційних ускладнень. При високих формах АРМ спостерігали порушення ЯЖ середнього і важкого ступенів, а при низьких формах АРМ – легкі порушення або нормальний рівень ЯЖ.

У всіх хворих із порушенням ЯЖ найнижчий рівень балів зафіксували в розділах шкали, які стосувалися порушення функцій контролю дефекації (розділи «Дієта, характер дефекації»; «Утримання калу»; «Фізичні симптоми»). Це корелювало з частотою найпоширеніших віддалених ускладнень і функціональних порушень: затримки дефекації і нетримання калу. Так, закріп різної інтенсивності і різного генезу виявили у 9 (24,32%) дітей, АІ – у 14 (37,84%) пацієнтів, а поєднання закріпу та АІ – у 5 (13,51%) хворих, у цих дітей рівень ЯЖ був найнижчим. При цьому тяжкість цих ускладнень чітко корелювала зі ступенем тяжкості порушення ЯЖ. Зниження балів у розділі «Утримання сечі» виявили лише в дітей, оперованих із приводу високих форм АРМ.

Достовірних гендерних відмінностей у порушенні ЯЖ у дітей не виявили. У віковому аспекті, за результатами опитування, відзначили певні особливості. Рівень ЯЖ у дітей віком 12–17 років був вищим порівняно з хворими віком 6–11 років. Це відповідало даним, що зі збільшенням віку дитини поліпшується контроль дефекації. У дітей молодшої

вікової групи середня сума балів становила  $81,96 \pm 4,2$ , у дітей старшого віку –  $92,12 \pm 5,1$  ( $p > 0,05$ ).

У дітей старшої вікової групи спостерігали достовірно вищий середній показник балів у розділах шкали, що стосуються контролю дефекації. Водночас у дітей цієї вікової групи встановили нижчий рівень балів у розділах, які стосуються емоційного функціонування, соціального функціонування і відчуття власного тіла.

В усіх 23 (62,16%) хворих, у яких були віддалені функціональні порушення, визначили рівень ЯЖ до лікування і за 6 місяців після терапії. За результатами повторного опитування виявили підвищення рівня ЯЖ, різною мірою, в усіх хворих, середня сума балів до лікування становила  $55,3 \pm 4,5$ , після лікування –  $75,8 \pm 6,1$  ( $p < 0,01$ ). Така динаміка ЯЖ корелювала з поліпшенням функцій товстокишкового транзиту і контролю дефекації. Не було хворих із тяжким ступенем порушення ЯЖ. Також зменшилася кількість дітей із середнім ступенем порушення ЯЖ (з 4 (14,29%) до 1 (3,57%) пацієнта). У більшості дітей, за результатами анкетування після консервативного і хірургічного лікування, виявили легкий ступінь порушення ЯЖ (17 (60,71%) дітей), а в 10 (35,71%) хворих досягнули нормального рівня ЯЖ. Підвищення загальної кількості балів корелювало з підвищенням балів у розділах анкети, які стосуються контролю дефекації і функції товстокишкового транзиту.

## Висновки

Загальна частота ранніх післяопераційних ускладнень у дітей, прооперованих із приводу АРМ, становила 13,51%. Віддалені функціональні порушення товстої кишки і відхідника різного ступеня тяжкості виникли в 62,16% хворих. Найчастішими віддаленими функціональними порушеннями в оперованих дітей були АІ (37,84% хворих) і післяопераційний закріп (24,32% хворих).

Встановлено, що післяопераційні ускладнення, пов'язані з порушенням контролю дефекації, суттєво знижують ЯЖ оперованих дітей. Застосування комплексу профілактики і лікування вказаних порушень сприяє достовірному поліпшенню контролю дефекації та ЯЖ хворих за даними анкетування.

Перспективи подальших досліджень. Зважаючи на поширеність АРМ і функціональних порушень після хірургічного лікування, доцільно продовжити науковий пошук, спрямований на профілактику і корекцію таких порушень.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

## Original articles. Coloproctology

### References/Література

1. Bischoff A, Levitt M, Pena A. (2009). Bowel management for the treatment of pediatric fecal incontinence. *Pediatr. Surg. Int.* 25; 12: 1027-1042.
2. Bischoff A, Tovilla M. (2010). A practical approach to the management of pediatric fecal incontinence. *Seminars in Pediatric Surgery*. 19(2): 154-159.
3. Cassina M, Fascetti Leon F, Ruol M, Chiarenza SF, Scirè G et al. (2019). Prevalence and survival of patients with anorectal malformations: A population-based study. *J. Pediatr. Surg.* 54(10): 1998-2003.
4. Dewberry L, Trecartin A, Peña A, St. Pierre M, Bischoff A. (2019). Systematic review: sacral nerve stimulation in the treatment of constipation and fecal incontinence in children with emphasis in anorectal malformation. *Pediatric Surgery International*. 35(9): 1009-1012.
5. Divarci E, Ergun O. (2020, Apr). General complications after surgery for anorectal malformations. *Pediatr Surg Int.* 36(4): 431-445. Epub 2020 Feb 21. doi: 10.1007/s00383-020-04629-9. PMID: 32086570.
6. Fernandez-Portilla E, Moreno-Acosta L, Dominguez-Muñoz A et al. (2021). Functional outcome after cord detethering in fecally incontinent patients with anorectal malformations. *Pediatr. Surg. Int.* 37: 419-424. <https://doi.org/10.1007/s00383-020-04834-6>.
7. Fofanov VO, Fofanov OD, Jurtseva AP, Volosyanko AB, Diduh IM. (2022). Quality of children's life after surgical correction of congenital colorectal pathology. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 3(76): 74-85. [Фофанов ВО, Фофанов ОД, Юрцева АП, Волосянко АБ, Дідух ІМ. (2022). Якість життя дітей після хірургічної корекції вродженої колоректальної патології. *Хірургія дитячого віку (Україна)*. 3(76): 74-85]. doi: 10.15574/PS.2022.76.74.
8. Hanneman MJ, Sprangers MA, De Mik EL, Ernest van Heurn LW, De Langen ZJ, Looyaard N et al. (2001). Quality of life in patients with anorectal malformation or Hirschsprung's disease: development of a disease-specific questionnaire. *Dis. Colon Rectum*. 44(11): 1650-1660.
9. Hartman EE, Oort FJ, Aronson DC, Sprangers MA. (2011). Quality of life and disease-specific functioning of patients with anorectal malformations or Hirschsprung's disease: a review. *Arch. Dis. Child.* 96(4): 398-406.
10. Holbrook C, Misra D, Zaporackaite I, Cleeve S. (2017, Aug). Post-operative strictures in anorectal malformation: trends over 15 years. *Pediatr Surg Int.* 33(8): 869-873. Epub 2017 Jun 14. doi: 10.1007/s00383-017-4111-6. PMID: 28616723.
11. Holcomb GW III, Murphy JP, St. Peter SD. (2020). *Holcomb and Ashcraft's Pediatric Surgery*, 7th edition. Elsevier: 1291.
12. Huang CF, Lee HC, Yeung CY, Chan WT, Jiang CB, Sheu JC et al. (2012, Aug). Constipation is a major complication after posterior sagittal anorectoplasty for anorectal malformations in children. *Pediatr Neonatol.* 53(4): 252-256. Epub 2012 Jul 28. doi: 10.1016/j.pedneo.2012.06.007. PMID: 22964283.
13. Jumbi T, Kuria K, Osawa F, Shahbal S. (2019). The effectiveness of digital anal dilatation in preventing anal strictures after anorectal malformation repair. *J. Pediatr. Surg.* 54(10): 2178-2181.
14. Kyrklund K, Neuvonen MI, Pakarinen MP, Rintala R.J. (2018). Social Morbidity in Relation to Bowel Functional Outcomes and Quality of Life in Anorectal Malformations and Hirschsprung's Disease. *Eur. J. Pediatr. Surg.* 28(06): 522-528.
15. Levitt MA, Peña A. (2005) Outcomes from the correction of anorectal malformations. *Curr. Opin. Pediatrics*. 17(3): 394-401.
16. Levitt MA, Peña A. (2009). Complications of Surgery in Anorectal Malformations. Chapter 17. In: Caty M. G., editor. *Complications in Pediatric Surgery*. Informa Healthcare: 301-315.
17. Levitt MA, Pena A. (2010). Pediatric fecal incontinence: a surgeon's perspective. *Pediatr. Rev.* 31: 91-101.
18. Mert M, Sayan A, Köylüoğlu G. (2021). Comparing the fecal continence scores of patients with anorectal malformation with anorectal manometric findings. *Pediatr. Surg. Int.* 37: 1013-1019. <https://doi.org/10.1007/s00383-021-04884-4>.
19. Shimaru T, Fujiogi M, Michihata N et al. (2022). Perioperative outcomes of laparoscopically assisted anorectoplasty versus conventional procedures for anorectal malformation: a retrospective nationwide database study. *Pediatr. Surg. Int.* 38: 1785-1791. <https://doi.org/10.1007/s00383-022-05234-8>.
20. Smith LE, Jorge JMN, Wexner SD. (1993). Etiology and management of fecal incontinence. *Dis Colon Rectum*. 36: 77-97.
21. Svetanoff WJ, Kapalu CL, Lopez JJ et al. (2022). Psychosocial factors affecting quality of life in patients with anorectal malformation and Hirschsprung disease-a qualitative systematic review. *J. Ped. Surg.* 57(3): 387-393.
22. Van der Steeg HJJ, Van Rooij IALM., Iacobelli BD et al. (2022). Bowel function and associated risk factors at preschool and early childhood age in children with anorectal malformation type rectovestibular fistula: An ARM-Net consortium study. *J. Ped. Surg.* 57(9): 89-96.
23. Wehrli LA, Reppucci ML, Ketzer J et al. (2022). Stricture rate in patients after the repair of anorectal malformation following a standardized dilation protocol. *Pediatr. Surg. Int.* 38: 1717-1721. <https://doi.org/10.1007/s00383-022-05219-7>.
24. Wigander H, Nisell M, Frenckner B, Wester T, Brodin U, Öjmyr-Joelsson M. (2019). Quality of life and functional outcome in Swedish children with low anorectal malformations: a follow-up study. *Pediatric Surgery International*. 35(5): 583-590.
25. Witvliet MJ, Slaar A, Heij HA, van der Steeg AF. (2013). Qualitative analysis of studies concerning quality of life in children and adults with anorectal malformations. *J. Pediatr. Surg.* 48: 372-379.

### Відомості про авторів:

**Фофанов Олександр Дмитрович** – д.мед.н., проф., зав. каф. дитячої хірургії з курсом клінічної анатомії та оперативної хірургії ІФНМУ. Адреса: м. Івано-Франківськ, вул. Є. Коновальця, 132; тел./факс: +38 (0342) 52-56-49. <https://orcid.org/0000-0003-1437-4161>.

**Фофанов Вячеслав Олександрович** – д.філос., доц. каф. дитячої хірургії з курсом клінічної анатомії та оперативної хірургії ІФНМУ. Адреса: м. Івано-Франківськ, вул. Є. Коновальця, 132. <https://orcid.org/0000-0002-1524-7669>.

**Матіяхі Олег Ярославович** – к. мед. н., доц. каф. дитячої хірургії з курсом клінічної анатомії та оперативної хірургії ІФНМУ. Адреса: м. Івано-Франківськ, вул. Є. Коновальця, 132. <https://orcid.org/0000-0002-9505-2465>.

**Глазович Михайло Васильович** – к. мед. н., доц. каф. дитячої хірургії з курсом клінічної анатомії та оперативної хірургії ІФНМУ. Адреса: м. Івано-Франківськ, вул. Є. Коновальця, 132. <https://orcid.org/0000-0003-3899-9334>.

Стаття надійшла до редакції 01.10.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.

UDC 617-7-089.8:615.468.6:616-002

O.S. Maksymenko<sup>1</sup>, V.H. Hryn<sup>1</sup>, R.B. Savchenko<sup>1</sup>, O. Muensterer<sup>2</sup>, A. Springer<sup>3</sup>

# Biocompatibility and mechanisms of aseptic inflammation in the use of suture materials in surgery

<sup>1</sup>*Poltava State Medical University, Ukraine*<sup>2</sup>*Ludwig Maximilian University of Munich, Germany*<sup>3</sup>*Medical University of Vienna, Austria*

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 93-100. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).93100

**For citation:** Maksymenko OS, Hryn VH, Savchenko RB, Muensterer O, Springer A. (2025). Biocompatibility and mechanisms of aseptic inflammation in the use of suture materials in surgery. Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 93-100. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).93100.

Any suture material intended for medical use must be characterized by a high level of biological compatibility. Biocompatibility is generally considered to be a material's ability to interact harmoniously with living tissue, its «affinity» with the body, which minimizes negative immune and inflammatory reactions.

**Aim** – to evaluate contemporary suture materials in terms of their physical and mechanical properties, biocompatibility, and effects on body tissues, as well as to determine the advantages of synthetic absorbable materials compared with traditional natural threads.

The analysis was conducted based on contemporary literature sources available in the PubMed, Scopus, Web of Science databases and experimental and clinical data concerning the use of suture materials in surgery. At the current stage of development of surgical practice, suture material must demonstrate a high level of biological activity, and, first of all, demonstrate the ability to resist infectious agents. The best thread should have the following basic properties: have the highest possible tensile strength, have knot stability in dry and wet conditions, have a relative elongation of the thread within  $25 \pm 10\%$  and a minimally high Young's modulus, be atraumatic, have an optimal thread surface texture, have balanced hydrophilicity, have non-pyrogenic properties, and cause a minimal tissue reaction of the local immune system during absorption.

**Conclusion.** Synthetic suture materials (both absorbable and non-absorbable) represent an optimal choice for contemporary surgery due to their high biocompatibility, predictable mechanical properties, controlled resorption, and minimal tissue reaction. Their use contributes to improved surgical outcomes and a reduced incidence of post-operative complications.

No conflict of interests was declared by the authors.

**Keywords:** aseptic inflammation, absorbable suture material, non-absorbable suture material.

## Біосумісність і механізми асептичного запалення при використанні шовних матеріалів у хірургії

О.С. Максименко<sup>1</sup>, В.Г. Гринь<sup>1</sup>, Р.Б. Савченко<sup>1</sup>, О. Мюнстерер<sup>2</sup>, А. Спрінгер<sup>3</sup><sup>1</sup>*Полтавський державний медичний університет, Україна*<sup>2</sup>*Мюнхенський університет Людвіга-Максиміліана, Німеччина*<sup>3</sup>*Віденський медичний університет, Австрія*

Будь-який шовний матеріал повинен характеризуватися високим рівнем біологічної сумісності. Поняття біосумісності зазвичай розглядають як здатність матеріалу до гармонійної взаємодії з живими тканинами, його «спорідненість» із організмом, що забезпечує мінімізацію негативних імунних та запальних реакцій.

**Мета** – оцінити сучасні шовні матеріали з огляду їхніх фізико-механічних властивостей, біосумісності та впливу на тканини організму, а також визначити переваги синтетичних абсорбуючих матеріалів порівняно з традиційними натуральними нитками.

Проведено аналіз літератури на основі сучасних літературних джерел представлених у базах даних PubMed, Scopus та Web of Science, експериментальних та клінічних даних щодо застосування шовних матеріалів у хірургії. На сучасному етапі розвитку хірургічної практики шовний матеріал має відповідати високим вимогам щодо біологічної активності, а першочергово – демонструвати здатність протидіяти інфекційним агентам. Найкраща нитка має мати такі основні властивості: володіти максимально можливою міцністю на

## Reviews

розрив, стійкістю вузла в сухому та вологому середовищі, відносним подовженням нитки в межах  $25 \pm 10\%$  та мінімально високим модулем Юнга, атравматичністю, оптимальною текстурою поверхні нитки, збалансованою гідрофільністю, апірогенними властивостями та викликати мінімальну тканинну реакцію місцевої імунної системи під час абсорбції.

**Висновок.** Синтетичні шовні матеріали (як абсорбуючі так і не абсорбуючі) є оптимальним вибором для сучасної хірургії завдяки високій біосумісності, передбачуваності механічних властивостей, контрольованій резорбції та мінімальній тканинній реакції. Використання таких матеріалів сприяє покращенню результатів оперативного лікування та зниженню частоти післяопераційних ускладнень.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** асептичне запалення, абсорбуючий шовний матеріал, не абсорбуючий шовний матеріал.

## Introduction

A living organism is represented by a wide spectrum of diverse cells formed by biomolecules of various natures, types, forms, and kinds, which ensure the performance of specific physiological functions and the maintenance of homeostasis. Each cell is an integral unit of the living organism and responds to changes in the surrounding environment, including the appearance of foreign agents. The contact of the organism with foreign structures triggers a complex set of immune and physiological reactions aimed at their recognition and, if necessary, rejection [2,29,32].

Regardless of the nature of the foreign material, whether it is a biological substance used for implantation, a metallic alloy, or a synthetic polymer, the establishment of a favorable interaction between the organism and the material remains an exceptionally complex challenge [29,47]. Achieving biocompatibility requires consideration not only of the chemical and physical properties of the material but also of its effect on cellular processes, local immune responses, and long-term tissue integration. Successful resolution of this issue ensures the stable and safe functioning of an implant or other biomaterial structure within the organism, which is of critical importance in contemporary medicine, biotechnology and surgical practice [19,29,47].

Therefore, any material intended for medical use must be characterized by a high level of biological compatibility. The concept of biocompatibility is generally understood as the ability of a material to interact harmoniously with living tissues, its «affinity» with the organism, which ensures the minimization of adverse immune and inflammatory responses. Substances possessing this property constitute a wide range of biomaterials, including, in particular, materials used for surgical sutures. Such materials must be capable of resorption after a defined period of functional activity, most often through enzymatic degradation, without causing harm to the organism [11,19,29,32,38,45].

At the same time, one of the factors that may contribute to the development of an inflammatory process following surgical interventions is residual suture material.

It acts as a foreign agent to the organism and may subsequently cause postoperative complications, including infectious and septic processes [19,29,45]. Ensuring a high level of biocompatibility of suture material is therefore critically important for reducing the risk of such complications and for supporting normal tissue regeneration.

**The aim** of the study is to evaluate contemporary suture materials in terms of their physical and mechanical properties, biocompatibility and effects on body tissues, as well as to determine the advantages of synthetic absorbable materials compared with traditional natural threads.

The analysis was conducted based on contemporary literature sources available in the PubMed, Scopus, and Web of Science databases, as well as experimental and clinical data concerning the use of suture materials in surgery. The study considered the physical and mechanical characteristics of the threads (tensile strength, Young's modulus, atraumatic properties, hydrophilicity, and resorption rate), as well as their biocompatibility and effects on tissue regeneration processes in animal models and clinical settings. In addition, morphological and morphometric changes in tissues were analyzed following the implantation of catgut, silk, polyglycolic sutures, polydioxanone, and modified polypropylene.

The outcome of any surgical treatment depends on the proper use of suture material. Every surgeon must be familiar with the physical characteristics and properties of the suture material employed during surgical procedures [16]. At the current stage of surgical practice development, suture materials must meet high standards of biological performance and, above all, demonstrate the ability to resist infectious agents [2,4,7,12,13,26,31,33]. The main characteristics of suture materials include the following:

The maximum possible tensile strength, which allows the use of a minimal amount of thread when placing a suture. This, in turn, reduces the volume of foreign material within the organism, minimizes tissue reaction, and promotes rapid, scar-free wound healing.

Knot stability in both dry and moist environments should remain as close as possible to the original tensile

strength of the thread. An important consideration is that when the knot comes into contact with tissue fluid, its strength decreases sharply, which must be taken into account during surgical suturing.

Relative elongation of the thread within  $25 \pm 10\%$ , ensuring approximation of healthy tissues without excessive tension and with sufficient blood supply. The literature presents differing opinions regarding optimal elongation: some authors report 7–10%, while others suggest 30–35%; beyond these limits, tissue cutting may occur.

Young's modulus should be relatively low while maintaining sufficient tensile strength. This provides good handling characteristics, flexibility, and compliance of the thread during surgical manipulation.

Atraumatic properties, determined by the condition of the thread surface, Young's modulus, and the method of attachment to the needle, allow for minimal tissue trauma during suturing.

Optimal surface texture: the thread should not be overly smooth to prevent knot slippage, while the absence of roughness prevents tissue damage due to a «sawing effect».

Hydrophilicity, i.e., the ability of the thread to swell upon contact with tissue fluid, which may reduce its strength; this property must be balanced with the mechanical characteristics of the thread.

Proportionality between the rate of strength loss and the wound healing process, ensuring adequate tissue support until the restoration of natural tensile strength.

Complete resorption of the thread until its full disappearance and, importantly, the degradation products must be non-toxic, should not accumulate in parenchymal organs, and must be completely excreted from the body.

Minimal tissue reaction during suturing, which depends on the chemical structure of the thread, its absorption mechanism and its ability to prevent the penetration of microorganisms. The «wicking effect» of the thread is also crucial: the higher its capillarity and hydrophilicity, the greater the likelihood of fluid and microorganism accumulation within the suture channel.

Thus, the requirements imposed on materials intended for medical use are extremely diverse and multifaceted; therefore, clearly defining the concept of biocompatibility and providing an unambiguous and comprehensive characterization of it is an exceptionally complex task. It is necessary to consider the specific meaning of compatibility in relation to the intended purpose of each individual biomaterial. When a foreign material is implanted into the organism, the body immediately mounts a strong response against this substance, with the direction and mechanisms of these re-

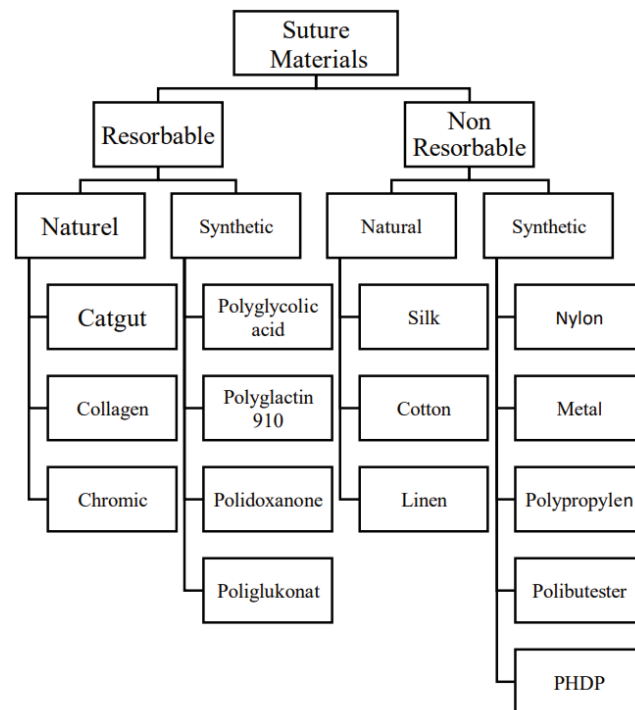


**Fig.** Types of suture materials (taken from Comparison tensile strength of different sutur materials) [28]

actions varying widely. The primary requirement that medical materials must meet is that they should not cause harm to the organism. Consequently, it is essential to possess comprehensive information regarding which factors inherent to the material may be harmful to the body [7,31–33].

Suture materials, or materials for surgical stitching, are used during surgical interventions to join various tissues [33,45]. Rarely is a surgical operation performed without the application of sutures. Materials such as silk, catgut, synthetic threads, metal staples, metal wire, horsehair, and threads made from deer tendons, among others, are used as suturing materials. Such diversity of materials is explained by the differing properties of the tissues being sutured and the varying periods required for their healing. This necessitates materials with different levels of mechanical strength. Surgical silk and catgut are most commonly used for suturing and serve as the main suture materials in surgical practice (Fig.).

Surgical suture threads, like other biomaterials, are classified into those based on metallic, natural and synthetic materials and, depending on their field of application, come in various diameters. The natural (organic) resorbable materials include plain catgut and chromic catgut, which is specially treated with chromium salts to increase the duration of its biodegradation [28].

One of the most common natural resorbable suture materials still used by surgeons today is catgut [22,27].

## Reviews

S.V. Honchar studied reparative tissue regeneration in the kidney when using resorbable catgut sutures by performing nephrotomy and closing the nephrotomy wound with polished catgut made from ovine raw material, and for suturing the kidney wound, catgut made from porcine raw material and catgut modified with L-arginine were used. As a result, L-arginine-modified catgut did not cause significant or prolonged changes in microcirculation but instead stimulated angiogenic activity in young connective tissue as early as the third day of observation. This improves scar oxygenation and promotes faster maturation of connective tissue [15].

Catgut is widely used for suturing internal organs and tissues, which is explained by its ability to be absorbed in the body within 2–4 weeks, depending on the thickness of the thread [1,27]. However, experience has shown that it has significant disadvantages due to its natural origin. Catgut is produced from animal raw material and consists of collagen fibers with a considerable admixture of non-collagenous proteins, which causes it to have an allergenic effect on surrounding tissues, especially when reused in the same patient. The tensile strength of catgut is lower than that of most synthetic resorbable suture materials, and its knot-breaking load is relatively small and varies considerably. In the moist state, knot strength may become critical due to thread swelling. Catgut also has a very high Young's modulus, making it stiff, difficult to handle and prone to cutting through tissues.

The rapid decrease in strength *in vivo* makes it unsuitable for use under conditions of tissue tension. The absorption period of catgut is not only unregulated but also unpredictable, as it depends on numerous factors. The inflammatory reaction to catgut is characterized by a pronounced exudative nature, ending later with fibrosis and sometimes a granulomatous response. The exudative inflammation includes an allergic component, with a high presence of lymphocytes and eosinophils in the affected area. Tissue edema and the presence of polymorphonuclear leukocytes persist for a long time, even when the suture thread itself is no longer detectable in the suture canal. Such an intense inflammatory reaction is associated with the protein nature of catgut and the difficulty of its sterilization. Its polyfilament structure also contributes to bacterial contamination: the interfilament spaces become filled with exudate, which serves as a nutrient medium for bacteria.

V.H. Hryn et al. investigated the role of the local immune system of the abdominal cavity in experimental animals by implanting a bundle of catgut thread (2/0) into the peritoneal cavity. In all cases, the mechanisms of the local immune system were activated through the

capture and rejection of the foreign substrate by the greater omentum or epididymal omenta. Morphologically, this was visualized by the presence of blood vessels growing into the implant and the formation, along the entire length of the catgut thread, of a continuous, dense layer of immunocompetent cells in the form of a peculiar sheath, mainly composed of lymphocytic and phagocytic elements. Therefore, the process aimed at rejecting the catgut thread, regardless of its duration, depending on the individual characteristics of the animal, is accompanied by a sluggish course of aseptic inflammation in the peritoneal cavity [21,22].

Surgical silk has high strength and durability, making it a commonly used non-resorbable suture material. Other non-resorbable suture materials include domestic Kapron (twisted polyamide), braided polyamide, monofilament polyamides, Lavsans, Dacron (braided polyester), steel, and monofilament polypropylene. In recent years, considerable attention has been given to finding suitable materials for producing bioresorbable surgical threads. A bioresorbable surgical suture material should reliably maintain the integrity of surgical stitches, possess sufficient elasticity, and gradually resorb at a rate corresponding to the tissue healing process. The degradation products of such materials must be easily eliminated from the implantation site, be completely harmless to the body, and not cause adverse reactions either from the surrounding tissues or from the organism as a whole [24,25,31,45,48].

Synthetic resorbable suture materials include polyglycolic acid threads based on modified polyglycolide lactide, which possess high strength and flexibility, as well as Dexon, a synthetic copolymer of glycolic acid, and Polysorb [4]. Polyglycolic acid (Dexon) was the first synthetic resorbable surgical suture material, which appeared on the global market in 1968. This was followed by polyglactin-910 (Vicryl) in 1972, polydioxanone in 1980, and later by polytrimethylene carbonate-lactomer 9-1 (Polysorb).

One of the main advantages of synthetic resorbable suture materials is their high biological inertness, as they cause almost no tissue reaction. Since all the synthetic resorbable sutures listed above are chemically composed of polymers of glycolic acid or combinations of glycolic and lactic acids in various ratios, the differences in tissue response are primarily determined by the physico-mechanical properties of the thread from which they are made, such as the braiding pattern, the presence of a coating, filament structure, etc. [6,7,41].

An important component in studying the biological properties of suture materials is experimental research and modeling of pathological conditions in animals [20,23].

In experimental studies on laboratory animals, many authors have demonstrated the use of polyglycolic acid threads for muscle suturing; monofilament synthetic resorbable suture material «PDS» (polydioxanone), comparing it with traditional suturing using Kapron thread; the effectiveness of intra-abdominal implantation of prostheses made of polypropylene and polyvinylidene fluoride (PVDF) into the abdominal wall of animals has also been studied; as well as the use of various types of suture materials: Vicryl, polydioxanone, Kapron and silk in surgical procedures on the small intestine [3,30,34].

R.V. Skoruk reports that the use of multifilament suture materials made of silk and Kapron for tissue approximation is inadvisable, as their implantation into tissues provokes a pronounced inflammatory reaction. Polypropylene threads modified with silver nanoparticles exhibit stable antimicrobial activity, which persists in tissues after implantation into the liver and skeletal muscles for up to 30 days. Therefore, the author concludes that it is the modified polypropylene threads that can be used for tissue approximation in surgical infections [42].

Some of the biological properties of suture materials used in open (cavity) surgeries are illustrated below through clinical examples.

The use of polyglycolic acid threads for suturing anastomosis in the large intestine following resection due to tumor or inflammatory diseases reduces the incidence of anastomotic insufficiency by half compared to the use of catgut for the same purpose [8].

In urinary tract tissues, synthetic resorbable suture materials elicit a mild reaction; however, due to their braided structure, polyglycolic acid and polyglactin-910 threads can occasionally serve as a nidus for stone formation. Nevertheless, owing to their biological inertness, encrustation of the sutures with salts occurs very rarely – less frequently than with catgut and even more so than with non-resorbable suture materials [9,35].

The tissues of the uterus and its appendages exhibit minimal reaction to the implantation of synthetic suture materials. The degree of fibrosis development in the area of tubal anastomosis directly depends on the type of suture material used. The use of synthetic resorbable sutures is associated with a minimal fibroplastic response [25].

The findings of morphological and radiological studies are supported by tensometric results. It has been established that by day 8, a sharp decrease in the mechanical strength of the anastomosis when using catgut was notable, primarily due to pronounced inflammatory

changes in the suture zone, as well as softening and fragmentation of the catgut thread. In contrast, the use of synthetic resorbable suture materials is not accompanied by a significant inflammatory reaction, and the thread retains its original properties for a prolonged period [17,25].

The chemical structure of the polymer from which a surgical suture material is made can exert a direct toxic effect on surrounding tissue cells, causing necrosis or increasing the virulence of opportunistic microorganisms within the site of aseptic inflammation, thereby promoting the acquisition or restoration of pathogenic properties by saprophytic and conditionally pathogenic microbes. The implantation of foreign material into the body inevitably triggers a cellular response, generally assessed as aseptic inflammation. This reaction serves a protective function for the tissues and is aimed at promoting their regeneration. The intensity of inflammation and the duration of regenerative processes depend on the nature of the implanted material, its degree of biocompatibility, biological activity, and biodegradation [9,30].

A universal protective response of the macroorganism to a surgical suture thread is its effort to rapidly localize this traumatic factor by forming a focus of inflammation in the surrounding tissues, accompanied by corresponding vascular, biochemical, and cellular reactions, followed by the formation of a fibrous tissue capsule. The formation of a fibrous capsule around the thread is considered the most favorable outcome of this response, as in this case, the surgical suture material is effectively isolated from the macroorganism, which no longer reacts to it [9,10].

In pediatric surgical and urological practice, both resorbable and non-resorbable suture materials are used with their own advantages and disadvantages, and different authors may recommend one or the other depending on the specific surgical or urological pathology. Kubilay Sarikaya et al., in their study comparing resorbable and non-resorbable suture materials for the correction of congenital penile curvature, concluded that the use of resorbable sutures during surgery appears preferable due to a lower risk of granuloma formation, fibrous plaques, and reduced palpability of the created knots, issues that are more commonly associated with non-resorbable materials. These findings are consistent with data reported by other authors [39,40].

Irfan Wahyudi et al., in a meta-analysis examining the relationship between suture technique and suture material during ureteroplasty, specifically, comparing resorbable synthetic braided sutures with resorbable synthetic monofilament sutures, concluded that there was no sig-

## Reviews

nificant difference in the overall complication rate; however, monofilament suture material exhibited faster absorption properties than braided sutures [46].

Some authors prefer monofilament suture materials due to their low tissue resistance and smooth penetration, whereas others recommend braided sutures because they are more resistant to the weakening effects of urine and are less prone to easy rupture [18,46].

W. Snodgrass and S. Yucel conducted a study comparing braided synthetic suture material with chromic catgut – a natural material – and found a reduction in the overall complication rate when using the synthetic material [43].

Several authors have analyzed early morphofunctional changes in the perivulnar region of the cecal mucosa in rabbits following suturing with polyglactin-910 and L-arginine-modified polycaprolactone. They concluded that the mean thickness of the cecal mucosa after colotomy increased with the use of both surgical threads; however, when L-arginine-modified polycaprolactone was used, the increase was smaller due to reduced hyperhydration of the connective tissue component of the mucosa, decreased leukocyte infiltration in the perivulnar area and accelerated reparative processes, making it suitable for practical use [5,36,37].

Stefan Gfroerer et al. conducted a comparison of fast-absorbing braided synthetic sutures of various commercial brands in adults and children who underwent elective skin surgeries, concluding that this type of suture material is effective, safe, and fast resorbable, allowing for excellent cosmetic outcomes [14].

Based on the bibliographic analysis, many researchers have highlighted the disadvantages of traditional suture materials, namely, catgut (reactogenicity, rapid loss of strength, knot loosening) and silk (reactogenicity, absorbent and cutting properties), which increase the likelihood of postoperative complications (wound dehiscence and infection, adhesion formation, etc.). Consequently, the results of using synthetic resorbable suture materials allow for the conclusion that they have a clear advantage over biological and natural resorbable threads, both in terms of minimal tissue reaction and their strength characteristics, as well as the complete elimination of degradation products from the body after fulfilling their tissue-joining function.

Current advantages of synthetic suture materials, as well as the potential for their further improvement, indicate significant prospects for expanding their use in surgical practice. Due to their high biocompatibility, stable mechanical properties, and the possibility of controlled resorption, synthetic threads provide reliable tissue approximation with minimal inflammatory re-

sponse. This makes them promising for both routine surgical procedures and operations with an increased risk of infectious or postoperative complications. Moreover, the ongoing refinement of the chemical structure and physicochemical characteristics of these threads opens new opportunities for the development of specialized suture materials tailored to specific clinical needs and tissue healing conditions [3,34].

Considering the promise of synthetic suture materials and their ability to provide controlled resorption with minimal tissue reaction, it is also important to examine the mechanisms of interaction between the body and the implanted material at the cellular level. Aseptic inflammation is understood as an immune system response aimed at removing a foreign substrate that, although possessing antigenic properties, does not actively resist the immune response, unlike pathogenic agents [22,44]. These properties are critically important for suture materials used in intra-abdominal surgical interventions.

In this context, a detailed analysis of various suture material samples was conducted to identify those exhibiting the most pronounced xenogenic properties, that is, the ability to interact with body tissues without provoking a significant inflammatory response. The findings of the analysis showed that the traditionally used catgut thread fully meets these criteria, as its biological base consists predominantly of collagen fibers from the submucosa of the sheep small intestine, providing high biocompatibility and natural resorption within tissues.

## Conclusions

Based on the conducted literature review and analysis of up-to-date suture materials, the following conclusions can be drawn:

1. Contemporary surgery demands materials capable of providing reliable tissue approximation with minimal adverse reactions from the body. The biocompatibility of suture material is critically important, as it affects both the speed and completeness of wound healing and the likelihood of postoperative complications, including inflammatory and infectious processes.
2. Synthetic resorbable sutures demonstrate stable mechanical properties, controlled resorption, and low tissue reactivity. Their use ensures minimal inflammatory response, reduces the risk of suture infection, and promotes effective tissue regeneration. Compared with traditional natural materials (catgut and silk), synthetic threads offer greater predictability in terms of strength loss and functional duration within the body.
3. Although catgut and silk have been used in clinical practice for a long time, they have several limitations: rapid loss of strength, uneven knot behavior in moist

conditions, high Young's modulus, and the potential to provoke pronounced exudative or granulomatous tissue reactions. These factors increase the likelihood of post-operative complications, such as wound dehiscence, inflammation, and adhesion formation.

4. Aseptic inflammation following suture implantation is a natural protective tissue response that determines subsequent regeneration. An effective suture material should stimulate a localized and controlled reaction without forming excessive fibrous scarring or chronic inflammation.

5. Synthetic suture materials hold significant potential for further enhancement: improvements in chemical structure, braiding, and coating allow the development of specialized sutures tailored to specific clinical needs and tissue healing conditions. The use of modified polymers with antimicrobial properties opens new possibilities for ensuring reliable tissue approximation in surgical settings with a high risk of infectious complications.

6. Thus, synthetic suture materials represent an optimal choice for contemporary surgery due to their high biocompatibility, predictable mechanical properties, controlled resorption, and minimal tissue reaction. Their use contributes to improved surgical outcomes and a reduced incidence of postoperative complications.

*No conflict of interests was declared by the authors.*

#### References/Література

- Ajmeri JR, Ajmeri MCJ. (2006). Surgical sutures: the largest textile implant material. In S.C. Anand, J.F. Kennedy, M. Mirafra, S. Rajendran (Eds.), *Medical Textiles and Biomaterials for Healthcare*. Woodhead Publishing: 432-440.
- Amani H, Alipour M, Shahriari E, Taboas JM. (2024). Immunomodulatory Biomaterials: Tailoring Surface Properties to Mitigate Foreign Body Reaction and Enhance Tissue Regeneration. *Advanced Healthcare Materials*. 13(29): 2401253. <https://doi.org/10.1002/adhm.202401253>.
- Balomenos DB, Gouletsou PG, Galatos AD. (2023). Comparison of Absorbable and Nonabsorbable Sutures for Intradermal Skin Closure in Dogs. *Vet Sci*. 10(2): 105. doi: 10.3390/vetsci10020105.
- Bespalova OM. (2021). Biomaterialy ta biosumisnist' [Elektronnyy resurs]: navchal'nyy posibnyk dlya zdobuvachiv stupenya bakalavra za osvith'nyu prohramoyu «Medychna inzheneriya» «Reheneratyvna ta biofarmatsevtichna inzheneriya» spetsial'nist' 163 «Biomedychna inzheneriya». KPI im. Ihorya Sikors'koho ; uklad. O. YA. Bespalova. Kyiv: KPI im. Ihorya Sikors'koho: 97.
- Bilash S, Pronina O, Ksyonz I, Koptev M, Oliinichenko YO, Kononov B. (2024). Analysis of early morphological and functional perivulnar changes in the mucosa of the cecum after suturing with different surgical threads. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 1(82): 43-49. <https://doi.org/10.15574/PS.2024.82.43>.
- Byrne M, Aly A. (2019). The Surgical Suture. *Aesthet Surg J*. 39; Suppl 2: S67-S72. doi: 10.1093/asj/sjz036.
- Chittoria RK, Reddy BP. (2023). Suture materials – Recent advances. *Cosmoderma*. 3: 175. doi: 10.25259/CSDM\_176\_2023.
- Clark CG, Wyllie JH, Haggie SJ, Renton P. (1977). Comparison of catgut and polyglycolic acid sutures in colonic anastomoses. *World Journal of Surgery*. 1(4): 501-504. doi: 10.1007/BF01565923.
- D'Cunha P, Pande B, Kathalagiri MS, Moharana AK, Deepak T, Pinto CS. (2022). Absorbable sutures: chronicles and applications. *International Surgery Journal*. 9(7): 1383-1394. doi: 10.18203/2349-2902.isj20221733.
- Dapunt U, Prior B, Kretzer JP, Hänsch GM, Gaida MM. (2021). The effect of surgical suture material on osteoclast generation and implant-loosening. [Research Paper]. *International Journal of Medical Sciences*. 18(2): 295-303. doi: 10.7150/ijms.50270.
- Dennis C, Sethu S, Nayak S, Mohan L, Morsi Y, Manivasagam G. (2016). Suture materials — Current and emerging trends. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. 104(6): 1544-1559.
- Elgohary DH, Saad MA, Salem MM, Sherazy EH, Khalifa TF. (2025). Assessment the properties of various surgical sutures. *Scientific Reports*. 15(1): 33330. doi: 10.1038/s41598-025-20311-3.
- Faris A, Khalid L, Hashim M, Yaghi S, Magde T, Bouresly W et al. (2022). Characteristics of Suture Materials Used in Oral Surgery: Systematic Review. *Int Dent J*. 72(3): 278-287. doi: 10.1016/j.identj.2022.02.005.
- Gfroerer S, Baumann P, Schwalbach AK, Smirnov A. (2019). Prospective international multicenter observational study of Novosyn® Quick for skin closures in adults and children (SKIN-NOQ). *BMC Surg*. 19(1): 47. doi: 10.1186/s12893-019-0506-8.
- Gonchar S, Pronina O. (2011). Structural, functional and morphological characteristics of changes in kidney tissues in early period after experimental nephrotomy and application of standard catgut and larginine modified catgut. *Bulletin of Problems Biology and Medicine*. 11(2): 15-19.
- Gorovyi VI. (2018). Features of the use of modern suture material in operations on organs of the genitourinary system. *Health of woman*. 2(115): 39-45.
- Greenberg JA, Clark RM. (2009). Advances in suture material for obstetric and gynecologic surgery. *Rev Obstet Gynecol*. 2(3): 146-158.
- Guarino N, Vallasciani SA, Marrocco G. (2009). A new suture material for hypospadias surgery: a comparative study. *J Urol*. 181(3): 1318-1322. doi: 10.1016/j.juro.2008.10.056.
- Gupta V. (2025). Potential of Natural Plant-Based Materials in the Development of Biocompatible Drug-Eluting Surgical Sutures: A Review. *Biomedical Materials & Devices*. 3(2): 1125-1149. doi: 10.1007/s44174-024-00259-0.
- Hryn V, Kostylenko Y, Maksymenko O. (2023). The greater omentum and similar serous formations of testis in male white rats. *Folia Morphologica*. 82(4): 854-861. doi: 10.5603/FM.a2022.0095.
- Hryn V, Kostylenko Y, Maksymenko O. (2023). General Morphological Characteristics of the Results of Experimental Modeling of Aseptic Peritonitis. *Annals of Anatomy – Anatomischer Anzeiger*. 250: 152160. doi: 10.1016/j.aanat.2023.152160.
- Hryn V, Kostylenko Y, Maksymenko O, Svintsytska N, Bilash V, Tykhonova O et al. (2024). Morphology of Catgut Implant Destruction in the Peritoneal Cavity of Male White Rats. *Journal of Morphological Sciences*. 41: 154-160. doi: 10.51929/jms.41.154.2024.
- Hryn V, Maksymenko O. (2024). Morphological Characteristics of the Results of Experimental Modeling of Septic Peritonitis. *International Journal of Morphology*. 42(2): 446-451. doi: 10.4067/S0717-95022024000200446.
- Jo Y-Y, Kwon H, Kim D-W, Kim M-K, Kim S-G, Kim J-Y et al. (2017). Accelerated biodegradation of silk sutures through matrix metalloproteinase activation by incorporating 4-hexylresorcinol. *Scientific Reports*. 7(1): 42441. doi: 10.1038/srep42441.
- Khanuja K, Burd J, Ozcan P, Peleg D, Saccone G, Berghella V. (2022). Suture type for hysterotomy closure: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Obstet Gynecol MFM*. 4(6): 100726. doi: 10.1016/j.ajogmf.2022.100726.

## Reviews

26. Kim A, Downer MA, Berry CE, Valencia C, Fazilat AZ, Griffin M. (2023). Investigating Immunomodulatory Biomaterials for Preventing the Foreign Body Response. *Bioengineering*. 10(12): 1411.
27. Kim H, Hwang K, Yun SM. (2020). Catgut and its Use in Plastic Surgery. *Journal of Craniofacial Surgery*. 31(3): 876-878. doi: 10.1097/scs.0000000000006149.
28. Kuzu T. (2022). Comparison tensile strength of different suture materials. *Cumhuriyet Dental Journal*. 24: 355-360. doi: 10.7126/cumudj.978167.
29. Li Y, Meng Q, Chen S, Ling P, Kuss MA, Duan B et al. (2023). Advances, challenges, and prospects for surgical suture materials. *Acta Biomater*. 168: 78-112. doi: 10.1016/j.actbio.2023.07.041.
30. Lovric V, Goldberg MJ, Heuberger PR, Oliver RA, Stone D, Laky B et al. (2018). Suture wear particles cause a significant inflammatory response in a murine synovial airpouch model. *J Orthop Surg Res*. 13(1): 311. doi: 10.1186/s13018-018-1026-4.
31. Maffei G, Măruțu C, Popa C, Gelețu G, Danila V, Jelišovschi I et al. (2019). The Biomechanical Properties of Suture Materials and Their Relationship to Bacterial Adherence. *Materiale Plastice*. 56: 980-985. doi: 10.37358/MP.19.4.5295.
32. Mariani E, Lisignoli G, Borzi RM, Pulsatelli L. (2019). Biomaterials: Foreign Bodies or Tuners for the Immune Response? *International journal of molecular sciences*. 20(3): 636. doi: 10.3390/ijms20030636.
33. Narasimhan AK, Rahul TS, Krishnan S. (2023). Chapter 9 – Revisiting the properties of suture materials: an overview. In S. Thomas, P. Coates, B. Whiteside, B. Joseph K. Nair (Eds.), *Advanced Technologies and Polymer Materials for Surgical Sutures*. Woodhead Publishing: 199-235.
34. Pillai CKS, Sharma CP. (2010). Review Paper: Absorbable Polymeric Surgical Sutures: Chemistry, Production, Properties, Biodegradability, and Performance. *Journal of Biomaterials Applications*. 25(4): 291-366. doi: 10.1177/0885328210384890.
35. Prem K, Janoria S, Kumar P. (2018). Secondary stone formation over a suture material after partial nephrectomy. *BMJ Case Rep*. 2018: bcr2017221569. doi: 10.1136/bcr-2017-221569.
36. Pronina OM, Bilash SM, Kobeniak MM, Oliinichenko YO, Koptev MM, Pirog-Zakaznikova AV et al. (2025). Comparative assessment of morphometric parameters of structural elements of crypts of the cecum using surgical threads polyglactin-910 and polycaprolactone modified with L arginine in the experiment. *Azerbaijan Medical Journal*. 183-189. doi: 10.34921/amj.2025.1.032.
37. Pronina OM, Bilash SM, Ksyonz IV, Kobeniak MM, Oliinichenko YO, Koptev MM et al. (2025). Morphometric features of the structural organisation of rabbit large intestine crypts after colotomy using polycaprolactone thread modified with L-arginine. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 1(86): 33-39. doi: 10.15574/PS.2025.1(86).3339.
38. Quinn J, Panasenko SI, Leshchenko Y, Gumeniuk K, Onderková A, Stewart D et al. (2024). Prehospital Lessons From the War in Ukraine: Damage Control Resuscitation and Surgery Experiences From Point of Injury to Role 2. *Mil Med*. 189(1-2): 17-29. doi: 10.1093/milmed/usad253.
39. Salem EA. (2018). Modified 16-Dot plication technique for correction of penile curvature: prevention of knot-related complications. *Int J Impot Res*. 30(3): 117-121. doi: 10.1038/s41443-018-0018-6.
40. Sarikaya K, Senocak C, Sadioglu FE, Ciftci M, Yordam M, Bozkurt OF et al. (2022). Is there any advantage in the use of absorbable sutures in congenital penile curvature surgery performed in childhood? *Rev Int Androl*. 20(3): 158-162. doi: 10.1016/j.androl.2020.12.005.
41. Selvi F, Cakar S, Can T, Kirli Topcu S, Palancioglu A, Keskin B et al. (2016). Effects of different suture materials on tissue healing. *J Istanbul Univ Fac Dent*. 50(1): 35-42. doi: 10.17096/jiufd.79438.
42. Skoruk R. (2013). Morphological and morphometric analysis of reaction of liver tissues and skeletal muscle polifilamentnogo implantation of surgical suture material of silk. *Tavria Medical and Biological Bulletin*. 13(2): 178-182.
43. Snodgrass W, Yucel S. (2007). Tubularized incised plate for mid shaft and proximal hypospadias repair. *J Urol*. 177(2): 698-702. doi: 10.1016/j.juro.2006.09.104.
44. Tagliaferri V, Ruggieri S, Tacaliti C, Gentile C, Didonna T, D'asta M et al. (2021). Comparison of absorbable and permanent sutures for laparoscopic sacrocevicopexy: A randomized controlled trial. *Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica*. 100(2): 347-352. <https://doi.org/10.1111/aogs.13997>.
45. Tatalović V, Marinković M, Perić R, Belopavlović R. (2024). Absorbable vs. non-absorbable suture: which one gives better results? *Irish Journal of Medical Science (1971-)*. 193(5): 2341-2348.
46. Wahyudi I, Raharja PAR, Situmorang GR, Rodjani A. (2023). Associations between suturing techniques and suture materials with complications of tubularised incised plate urethroplasty: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Pediatric Surgery Open*. 1: 100003. <https://doi.org/10.1016/j.yjps.2023.100003>.
47. Xu L, Liu Y, Zhou W, Yu D. (2022). Electrospun Medical Sutures for Wound Healing: A Review. *Polymers (Basel)*. 14(9): 1637. doi: 10.3390/polym14091637.
48. Yaltirik M, Dedeoglu K, Bilgic B, Koray M, Ersev H, Issever H et al. (2003). Comparison of four different suture materials in soft tissues of rats. *Oral Dis*. 9(6): 284-286. doi: 10.1034/j.1601-0825.2003.00954.x.

### Відомості про авторів:

**Максименко Олександр Сергійович** – д.філос., викладач каф. анатомії людини ПДМУ. Адреса: м. Полтава, вул. Шевченка, 23. Лікар-хірург дитячий, лікар-уролог дитячий ТОВ «Медичний лікувально-діагностичний центр «МЕДІОН». Адреса: м. Полтава, вул. Сінна 37. <https://orcid.org/0000-0003-1502-1464>.

**Гринь Володимир Григорович** – д.мед.н., проф., зав. каф. анатомії людини ПДМУ. Адреса: м. Полтава, вул. Шевченка, 23. <https://orcid.org/0000-0001-5894-4416>.

**Савченко Роман Борисович** – доктор філософії, PhD, асистент каф. хірургії №2 ПДМУ. Адреса: м. Полтава, вул. Шевченка, 23. <https://orcid.org/0000-0001-9790-8821>.

**Мюнстерер Олівер** – проф. Мюнхенського університету Людвіга-Максиміліана, зав. відділенням дитячої хірургії Дитячої лікарні доктора фон Гаунере. м. Мюнхен. <https://orcid.org/0000-0003-2790-4395>.

**Спрінгер Александер** – д.філос., доц., консультант з дитячої урології Віденського медичного університету. <https://orcid.org/0000-0003-0300-6021>.

Стаття надійшла до редакції 23.10.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.

УДК 616.727.3-001.5-06:611.1+612.824]:616.8-009.1-08-053.2/.6

А.Ф. Левицький, Ю.Л. Соболевський, В.В. Лиходій, Д.Ю. Ковальчук

# Нейроваскулярні порушення при надвиросткових переломах плечової кістки в дітей і підлітків

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

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 101-108. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).101108

**For citation:** Levytskyi AF, Sobolevskiy YL, Lykhodii VV, Kovalchuk DY. (2025). Neurovascular disorders in supracondylar fractures of the distal humerus in children and adolescents. Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 101-108. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).101108.

Надвиросткові переломи плечової кістки (НППК) є поширеним травматичним пошкодженням у педіатричній практиці, яке становить близько 60% серед переломів у ділянці ліктьового суглоба. Ускладнення, зумовлені ураженнями нервів і судин, можуть бути первинними або вторинними, які виникають у процесі лікування переломів. Ураження нервів трапляються в 5,8–14,0% дітей, а частота судинних травм коливається в межах 3,2–14,3%. Розрізняють рожеву руку без пульсу, перфузовану і бліду, холодну руку без пульсу. Обидва випадки потребують термінового лікування. Однак залишаються дискусійними питання щодо змісту, характеру та обсягу такого лікування, визначення термінів його проведення.

**Мета** – визначити сучасну тактику лікування нейроваскулярних порушень при НППК у дітей і підлітків.

Методологія дослідження базується на рекомендаціях «Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analysis (PRISMA) guidelines». Пошук літературних джерел проведено з використанням сучасних вітчизняних і зарубіжних баз, глибина пошуку – за останніх 5–7 років із використанням таких термінів: «supracondylar fractures of distal humerus in pediatric patients», «treatment», «neurovascular disorders». За результатами аналізу літературних джерел, тактика лікування васкулярних ускладнень базується на встановленні ступеня їх порушення, які традиційно визначаються, як рожева/бліда рука без пульсу. В обох випадках обґрунтованою є невідкладна репозиція відламків і внутрішня фіксація. Подальша тактика залежить від результатів моніторингу стану кровопостачання, в об'єктивізації якого важливу роль відіграє трифазна доплерографія. При негативних показниках та ознаках компартменту синдрому показано невідкладне оперативне втручання для визначення факторів васкулярних порушень та їх усунення. Тактика лікування неврологічних порушень залежить від ступеня сенсорних і рухових порушень. При нейрапраксії виправданою є очікувальна тактика, при нейротмезі, який характеризується стійким неврологічним дефіцитом, показано нейрохірургічне втручання.

**Висновки.** Нейроваскулярні ускладнення при НППК у дітей і підлітків потребують невідкладної репозиції та внутрішньої фіксації відламків. Подальша тактика лікування пошкодження нервових структур залежить від ступеня сенсорних і рухових розладів, а судинних – від показників клінічного та інструментального моніторингу.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** надвиросткові переломи в дітей і підлітків, нейроваскулярні порушення, лікування.

## Neurovascular disorders in supracondylar fractures of the distal humerus in children and adolescents

A.F. Levytskyi, Y.L. Sobolevskiy, V.V. Lykhodii, D.Y. Kovalchuk

Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

Supracondylar fracture of the distal humerus (SFDH) is a common traumatic injury in pediatric practice, accounting for about 60% of fractures in the elbow joint. Complications caused by nerve and vascular damage can be primary or secondary, arising during the treatment of fractures. Nerve damage occurs in 5.8–14% of children, and the frequency of vascular injuries ranges from 3.2% to 14.3%. A distinction is made between a «pink, pulseless, perfused hand» and a «pale, cold, pulseless hand.» Both cases require urgent treatment. However, a number of issues remain debatable regarding the content, nature, and scope of such treatment, as well as the timing of its implementation.

## Reviews

**Aim** – to determine the current tactics for treating neurovascular disorders in SFDH in children and adolescents.

The research methodology is based on the recommendations of the «Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analysis (PRISMA) guidelines». The search for literature sources was carried out using modern domestic and foreign databases, the depth of the search – over the last 5–7 years using the following terms: «supracondylar fractures of distal humerus in pediatric patients», «treatment», «neurovascular disorders». According to the results of the analysis of literary sources, the tactics of treating vascular complications are based on establishing the degree of their impairment, which is traditionally defined as a pink/pale hand without a pulse. In both cases, urgent reduction of fragments and internal fixation are recommended. Further tactics depend on the results of monitoring the state of blood supply, in the objectification of which three-phase Dopplerography plays an important role. With negative indicators and signs of compartment syndrome, urgent surgical intervention is indicated to determine the factors of vascular disorders and their elimination. The treatment of neurological disorders depends on the degree of sensory and motor disorders. In case of neurapraxia, expectant management is justified, while in case of neurotmesis, which is characterized by persistent neurological deficit, neurosurgical intervention is indicated.

**Conclusions.** Neurovascular complications in SFDH in children and adolescents occur in about 14% of cases, requiring urgent reduction and internal fixation of the fragments. Further treatment tactics for damage to nervous structures depend on the degree of sensory and motor disorders, and for vascular disorders – on the indicators of clinical and instrumental monitoring.

The authors have no conflicts of interest to declare.

**Keywords:** supracondylar fractures of distal humerus in pediatric patients, neurovascular disorders, treatment.

## Вступ

Надвиросткові переломи плечової кістки (НППК) є поширеними травматичними пошкодженнями в педіатричній практиці, які становлять близько 60% серед переломів у ділянці ліктьового суглоба. Ці переломи переважають серед пацієнтів віком до 7 років, а в подальшому посідають друге місце серед пошкоджень у дитячій популяції. За статеву належністю превалюють чоловіки в співвідношенні 3:2 (чоловіки: жінки). Переважають переломи розгинального типу, спричинені падінням на випрямлену руку (97–99%). Стосовно домінуючого пошкодження за боком ураження, то чіткої доказової бази з цього приводу не існує [12,26].

Ускладнення, зумовлені ураженнями нервів і судин, можуть бути первинними, тобто такими, що виникають внаслідок первинної травми, або вторинними, як ятрогенна травма, що виникає в процесі лікування переломів. Ураження нервів трапляються в 5,8–14,0% дітей, а частота судинних травм коливається в межах 3,2–14,3% [23].

Ретельне оцінювання функцій серединного, переднього міжкісткового, ліктьового і променевого нервів є обов'язковим. Найкраща практика передбачає документування рухових і сенсорних функцій кожного нерва, однак з урахуванням особливостей дитячого віку повноцінна реалізація цього положення є вкрай складним завданням. Травматична нейрапраксія констатується в близько 11% випадків, причому передній міжкістковий нерв найчастіше уражується при переломах розгинального типу, а ліктьовий – при переломах згинального типу [6].

Пошкодження плечової артерії трапляється в близько 38% випадків, особливо при переломах Гартленда III зі зміщенням. Розрізняють рожеву руку

без пульсу, перфузовану (деякі пацієнти мають виражений колатеральний кровообіг, чим пояснюється достатня перфузія навіть на тлі відсутності пульсу) і біду, холодну руку без пульсу. Обидва випадки потребують термінового лікування [12].

Однак залишаються дискусійними питання щодо змісту, характеру та обсягу такого лікування, визначення термінів його проведення.

**Мета** дослідження – визначити сучасну тактику лікування нейроваскулярних порушень при НППК у дітей і підлітків.

Методологія дослідження базується на рекомендаціях «Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analysis (PRISMA) guidelines» (рис.1) [15]. Пошук літературних джерел проведено з використанням сучасних вітчизняних і зарубіжних баз, глибина пошуку – за останніх 5–7 років із використанням таких термінів: «supracondylar fractures of distal humerus in pediatric patients», «treatment», «neurovascular disorders».

**Критерії залучення:** 1) пацієнти дитячого і підліткового віку з НППК II–IV типу за Гартлендом із нейроваскулярними порушеннями; 2) літературні джерела з достатнім рівнем доказовості (I–IV), у яких представлена статистично достатня група пацієнтів за кількістю і терміном спостереження.

**Критерії вилучення:** 1) НППК I типу за Гартлендом, II–IV типу без нейроваскулярних порушень; 2) публікації (рецензії, тези або статті), які не мають достатньої інформативної доказової бази та представлені окремими клінічними випадками.

Пошук проведено за такими даними: перший автор, рік публікації, рівень доказовості, дизайн дослідження, тип перелому, кількість і вік пацієнтів, різновид, ступінь уражень нейроваскулярних структур, лікувальна тактика та її результати (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика відібраних літературних джерел для подальшого аналізу

| Автор, рік, країна                            | Характер нейроваскулярних порушень і обсяг дослідження                                                                                                                                                           | Дизайн дослідження, рівень доказовості              |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Shore B.J. і співавт., 2019, USA [22]         | Обстежено 244 пацієнти (1996–2012 рр.) з ушкодженнями нервів, пов'язаними з розгинальним типом НППК. З дослідження вилучено пацієнтів із ятрогенним ураженням і суб'єктивними парестезіями без рухового дефіциту | Ретроспективне, рандомізоване, рівень IV            |
| Graff C. і співавт., 2022, Australia [8]      | Проаналізовано результати лікування 179 пацієнтів із клінічними ознаками ятрогенного ураження ліктьового нерва внаслідок застосування перехресної фіксації                                                       | Ретроспективне, рандомізоване, рівень IV            |
| Özcan M. і співавт., 2020, Turkey [17]        | Обстежено 375 пацієнтів, із них у 37 осіб виявлено первинні або ятрогенні пошкодження нервових структур                                                                                                          | Ретроспективне, рандомізоване, рівень III           |
| Schädlich I.S. і співавт., 2024, Germany [21] | У 10 пацієнтів вивчено первинне травматичне пошкодження серединного нерва та ізольовані ураження його рухової гілки, переднього міжкісткового нерва                                                              | Проспективне, рівень II                             |
| Wilks D.J. і співавт., 2023, UK [26]          | Обстежено 1096 пацієнтів із НППК, з яких у 74 (7%) випадках виявлено супутній параліч серединного нерва                                                                                                          | Проспективне, рівень III                            |
| Harris L.R. і співавт., 2019, USA [10]        | Досліджено 71 пацієнта з переломами Гартленда III–IV типу без дистального пальпованого пульсу і пошкодження переднього міжкісткового або серединного нерва                                                       | Ретроспективне, рандомізоване, рівень IV            |
| Gutwerk A і співавт., 2022, Germany [9]       | Обстежено 84 пацієнти з первинними та ятрогенними нейроваскулярними порушеннями                                                                                                                                  | Ретроспективне одноцентрове дослідження, рівень III |
| Chrenko R. і співавт., 2024, Slovakia [3]     | Досліджено 453 пацієнти, із них у 51 випадку виявлено пошкодження периферичних нервів, серед яких превалювало ураження ліктьового нерва                                                                          | Ретроспективний аналіз                              |
| Phan M.D. M. і співавт., 2024, Vietnam [18]   | Проаналізовано 88 пацієнтів, переважно чоловіків, середній вік яких становив 6 років, із рожевою рукою без пульсу                                                                                                | Ретроспективний аналіз                              |
| Xie L.W. і співавт., 2021, China [28]         | Проліковано 13 пацієнтів із НППК із рожевою рукою без пульсу. Для оцінювання компрометації плечової артерії застосовано дуплексне ультразвукове дослідження з кольоровим потоком                                 | Проспективне, рівень II                             |
| Kanumuri S. і співавт., 2024, USA [14]        | Ідентифіковано 13 пацієнтів із НППК зі зміщенням і рожевою рукою без пульсу                                                                                                                                      | Ретроспективне, рівень IV                           |
| Sabharwal S. і співавт., 2020, USA [19]       | Нейроваскулярні ураження виявлено у 49% пацієнтів, при цьому порушення кровообігу встановлено у 19% випадків, зумовлені рядом факторів – від пошкодження цілісності до спазму плечової артерії                   | Ретроспективне, рівень IV                           |
| Joyce K.M. і співавт., 2024, UK [13]          | Проліковано 762 пацієнтів, серед яких частка документально підтверджених пошкоджень нервів і/або судин становила 8,3%                                                                                            | Ретроспективне, когортне, рівень IV                 |
| Toğaç S. і співавт., 2022, Turkey [25]        | У 31 пацієнта проведено моніторинг тиску в глибоких волярних компартментах проксимальної третини передпліччя протягом перших 24 годин після відкритої і закритої репозиції відламків                             | Проспективне, рівень II                             |

У роботі використано програмне забезпечення RStudio (<https://www.rstudio.com/>).

Отримані результати аналізу відібраних літературних джерел наведено в таблиці 2.

Аналіз результатів дослідження наведено на рисунку 2.

Предметна дискусія щодо неврологічних порушень стосується вторинних факторів, серед яких суттєве місце належить ятрогенним, зокрема, по-

шкодження ліктьового нерва за використання перехресної фіксувочної конфігурації. Ґрунтуючись на анатомо-біомеханічних дослідженнях, клінічних результатах, альтернативою є латеральна фіксація, яка мінімізує ризик ятрогенного пошкодження нервів, особливо ліктьового, і забезпечує достатню стабільність перелому [1,16].

Важливим аспектом є визначення методу лікування. S. Deininger і співавтори вказують на значне

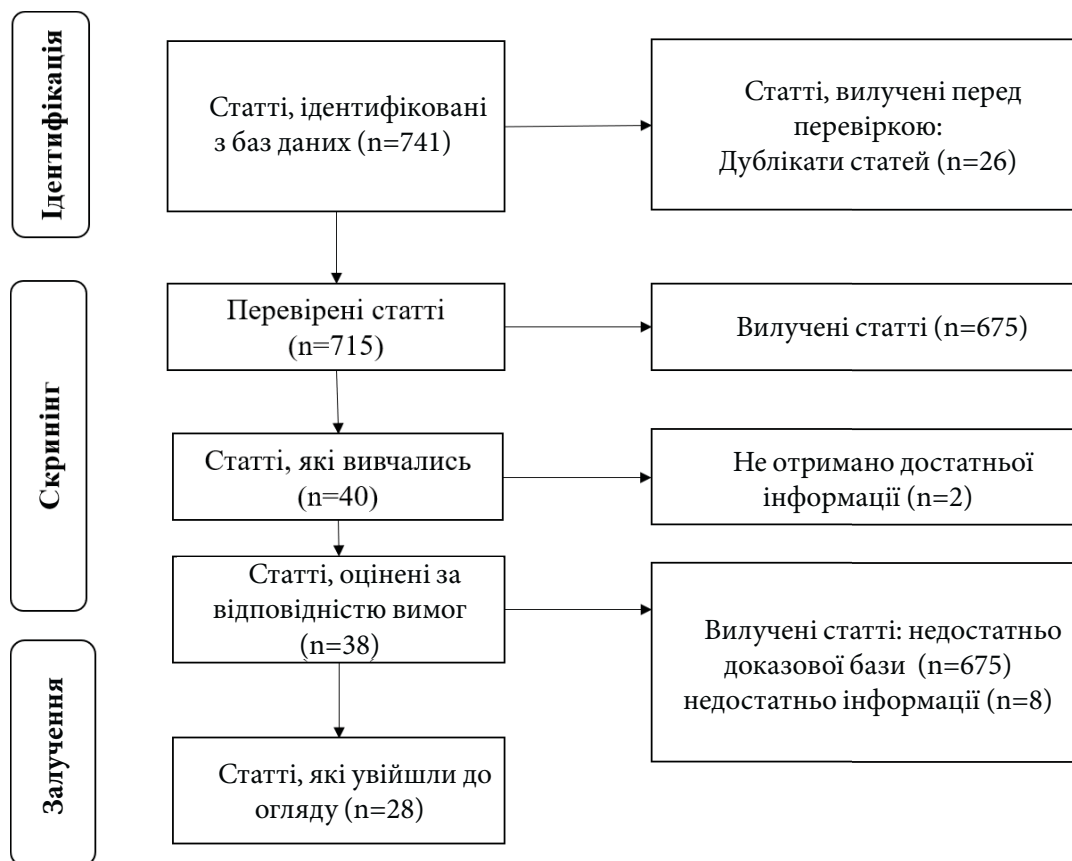


Рис. 1. Блок-схема PRISMA



Рис. 2. Алгоритм дій лікаря в разі порушення перфузії кінцівки

Таблиця 2

Результати дослідження літературних джерел

| Автор, рік, країна                            | Результати дослідження                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Висновки і рекомендації                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Shore B.J. і співавт., 2019, USA [22]         | Середній вік пацієнтів становив 6,7 року, у 89% пацієнтів діагностовано ураження одного нерва, яке у 29% поєднувалося з різним ступенем васкулярних порушень. Превалювало (62%) ураження серединного нерва. У 18% випадків проведено декомпресію нерва під час фіксації перелому                                                                                                                                                                                                            | Переважає більшість нервових порушень відновлюється самостійно протягом 6 місяців без потреби в декомпресії нерва. Поєднане пошкодження декількох нервових стовбурів потребує тривалого відновлення рухової функції                                                                                                                                                                                                                                        |
| Graff C. і співавт., 2022, Australia [8]      | При перехресній фіксації НППК у 4% випадків встановлено ятрогенне ураження ліктьового нерва. Мета дослідження: вивчити вплив раннього видалення елементів конструкції на процеси відновлення ліктьового нерва                                                                                                                                                                                                                                                                               | При ятрогенних невралгічних ускладненнях близько 90% пацієнтів досягають повного одужання шляхом застосування вичікувальної лікувальної тактики. Дослідження не підтверджує, що раннє видалення елементів фіксуючої конструкції сприяє скороченню терміну відновлення                                                                                                                                                                                      |
| Özcan M. і співавт., 2020, Turkey [17]        | Серед 37 пацієнтів у 13 (35,1%) випадках зафіксовано ятрогенне пошкодження ліктьового нерва. Проведено категоризацію неврологічних ускладнень і визначення факторів ризику. Серед пацієнтів з ятрогенним пошкодженням нервів відзначено повне відновлення. Негативні неврологічні результати виявлено у 2 пацієнтів із комбінованим ураженням променевого, ліктьового і серединного нервів. Фактором ризику (58,3%) пошкодження нервів визнано передній довгий і гострий кістковий фрагмент | Прогноз при даних пошкодженнях, особливо при ятрогенних, є позитивним. Хірургічне втручання не є обов'язковим, особливо в разі ятрогенного пошкодження за відсутності нейротмезу. Виправдані очікувальна тактика. Довгий і гострий кістковий фрагмент є важким фактором пошкодження нервових структур                                                                                                                                                      |
| Schädlich I.S. і співавт., 2024, Germany [21] | Проведено спостереження 10 пацієнтів протягом 11,6 місяця. Цілеспрямовано відпрацьовано критерії диференційного діагностування ураження серединного нерва і переднього міжкісткового нерва. Для верифікації діагнозу використано УЗД серединного нерва кожні 1–3 місяці                                                                                                                                                                                                                     | Неврологічний дефіцит серединного нерва при переломах зі зміщенням перевищує ізольоване ураження серединного нерва. Цілеспрямовані неврологічні та сонографічні обстеження забезпечують адекватну консервативну терапію                                                                                                                                                                                                                                    |
| Wilks D.J. і співавт., 2023, UK [26]          | У дослідній групі діагностовано ураження серединного нерва в 7% випадків. Вивчено термін відновлення серединного нерва                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Середній час відновлення рухової функції – 120 діб. У 27% і 13% випадків не досягнуто 4-го ступеня за шкалою MRC через 6 місяців і 2 роки, відповідно. У пацієнтів, яким проведено відкриту репозицію, рухова функція відновлюється швидше на 80 днів, сенсорна функція – на 110 днів                                                                                                                                                                      |
| Harris L.R. і співавт., 2019, USA [10]        | Тактика лікування НППК без пульсу дискусійна, тому предметом дослідження обрано визначення епідеміології даних пошкоджень, оцінювання доцільності відкритої та закритої репозиції, виявлення факторів, пов'язаних із необхідністю нейроваскулярного втручання                                                                                                                                                                                                                               | У групах пацієнтів із пошкодженням серединного і переднього міжкісткового нерва, із розвитком компартмент-синдрому не виявлено суттєвої різниці в необхідності операційного лікування, повторних оперативних втручань і в термінах відновлення нервових структур: повне відновлення відбувалося щонайменше протягом 3 місяців                                                                                                                              |
| Gutwerk A і співавт., 2022, Germany [9]       | Серед 84 пацієнтів у 34 осіб зафіксовано нейроваскулярні пошкодження. Первинні травматичні нейроваскулярні ускладнення виявлено в 10 випадках, більшість стосувалися серединного нерва. Травматичне розшарування плечової артерії зареєстровано в 3 пацієнтів. Вторинне ятрогенне пошкодження нерва задокументовано в 5 пацієнтів                                                                                                                                                           | На етапі середньострокового клінічного спостереження залишкові нейроваскулярні прояви виявлено у 2 із 8 пацієнтів: в одного пацієнта проведено декомпресійний нейроліз ліктьового нерва; в іншого відзначено випадок складної первинної травматичної дисекції плечової артерії з дисфункцією серединного та променевого нервів, присутня залишкова нейрапраксія. Серед вторинних/ятрогенних неврологічних ушкоджень не виявлено порушень у жодному випадку |

## Reviews

### Продовження таблиці 2

Результати дослідження літературних джерел

| Автор, рік, країна                          | Результати дослідження                                                                                                                                                                                                                                                                  | Висновки і рекомендації                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chrenko R. і співавт., 2024, Slovakia [3]   | Визначено частоту, необхідність нейрохірургічного втручання при травмах периферичних нервів, що констатовано в 51 випадку серед 453 пацієнтів                                                                                                                                           | Найчастіше відзначено пошкодження ліктьового нерва. 9 пацієнтам виконано оперативне втручання: вивільнення защемлених нервів. Незважаючи на сприятливий прогноз травм периферичних нервів у дітей з НППК, слід адекватно ідентифікувати тяжкість. Рекомендовано активний нейрохірургічний підхід у дітей зі стійким неврологічним дефіцитом                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Phan M.D. M. і співавт., 2024, Vietnam [18] | Досліджено 88 пацієнтів, переважно чоловіків (58%), середній вік – 6 років, із рожевою без пульсу рукою після НППК                                                                                                                                                                      | Задовільні результати, про які свідчить повернення пульсу після закритої репозиції та перкутанного фіксування, виявлено в 66% пацієнтів. Серед пацієнтів зі стійкою відсутністю променевого пульсу через 72 години у 83% діагностовано пошкодження плечової артерії, причому у всіх таких пацієнтів виявлено рецидивну втрату пульсу після операції                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Xie L.W. і співавт., 2021, China [28]       | Дослідження присвячено лікуванню в дітей НППК, що супроводжувалися рожевою рукою без пульсу, яке базувалося на аналізі з метою визначення ефективності вичікувальної тактики в супроводі з об'єктивним моніторингом                                                                     | У більшості пацієнтів васкулярні порушення зумовлені стисненням артерії проксимальним фрагментом, в одному випадку – защемлення артерії між фрагментами, у двох – наявність тромбу. Після репозиції у 9 випадках пульс відновився, в інших пацієнтів на тлі відсутності пульсу не було погіршення судинного стану. Дослідження свідчить, що спостереження після термінової закритої репозиції та перкутанної фіксації є достатнім підходом до лікування дитячих НППК, що супроводжуються рожевою рукою з відсутністю пульсу. Кольорове дуплексне ультразвукове дослідження є ефективним для оцінювання стану кровопостачання і визначає стратегію лікування |
| Kanumuri S. і співавт., 2024, USA [14]      | Усім пацієнтам із нейроваскулярними порушеннями проведено відкриту репозицію відламків із переднього доступу з дослідженням і відновленням структур. Дистальний кровотік у плечовій артерії відновлений за допомогою застосування лідокаїну, тромбектомії або реконструкції артерії     | В умовах обмежених ресурсів рекомендують проводити відкриту ревізію та репозицію відламків, що дає змогу запобігти ятрогенному нейроваскулярному пошкодженню під час спроб закритої репозиції, відновити пошкодження плечової артерії                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Sabharwal S. і співавт., 2020, USA [19]     | Існує консенсус щодо лікування білої руки без пульсу при НППК, що потребує невідкладного оперативного лікування, однак питання щодо рожевої руки без пульсу є дискусійним і потребує індивідуального підходу, який базується на результатах клінічного та інструментального моніторингу | Автори рекомендують невідкладну оперативну репозицію та фіксацію перелому, особливо в пацієнтів із безпульсовою рукою і паралічем серединного нерва. У всіх пацієнтів обов'язково проводять повторне оцінювання судинного стану після адекватної репозиції та фіксації перелому. У разі збереження ознак порушення дистальної перфузії (слабкі або відсутні доплерівські сигнали чи повільне капілярне наповнення) негайно виконують хірургічну ревізію плечової артерії                                                                                                                                                                                    |
| Joyce K.M. і співавт., 2024, UK [13]        | Обстежено 762 пацієнтів, середній вік – 5,2 року, частка підтверджених пошкоджень нервів і/або судин – 8,3%. 26 пацієнтам проведено раннє хірургічне втручання: 8 – венозна пластика для реконструкції плечової артерії; 1 – пластика нерва; 12 – нейроліз                              | Раннє цілеспрямоване клініко-інструментальне обстеження дає змогу встановити ступінь нейроваскулярного пошкодження та визначити показання до негайного оперативного втручання                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

## Закінчення таблиці 2

Результати дослідження літературних джерел

| Автор, рік, країна                     | Результати дослідження                                                                                                                                                                               | Висновки і рекомендації                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Toğaç S. і співавт., 2022, Turkey [25] | Вивчено тиск у кістково-фасціальних футлярах передпліччя серед пацієнтів із НППК, тип III за класифікацією Гартленда, яким проведено відкриту репозицію відламків протягом післяопераційного періоду | У пацієнтів, яким проведено відкриту репозицію, констатовано підвищення показників у до- і ранньому післяопераційному періоді. У подальшому тиск у компартменті поступово знижується. Тривалість оперативного втручання (>1 год) і збільшений термін від травми до оперативної фіксації (>12 год) призводять до підвищення тиску |

поліпшення рухової функції у всіх пацієнтів після оперативного втручання, однак, незважаючи на порівняно тяжкі рухові порушення за первинного звернення, у групі пацієнтів, яким проведено консервативне лікування, також досягнуто позитивних результатів завдяки регресу неврологічного дефіциту. Це дослідження вказує на відмінні функціональні результати після хірургічного і консервативного (повна спонтанна ремісія) лікування травм нервів при НППК у дітей, тому показання до хірургічного втручання в пацієнтів цієї категорії мають бути достатньо виваженими [4].

Судинні порушення у вигляді рожевої/блідої руки без периферичного пульсу можуть бути зумовлені різними факторами (від порушення цілісності судини до її спазму), індивідуальними особливостями колатеральної системи судин, що відіграє суттєву роль у компенсаторних механізмах. Базисні положення лікування цих пацієнтів полягають у невідкладній закритій репозиції та фіксації перелому, що є пріоритетним у всіх випадках судинної недостатності без пульсу, як рожевих, так і блідих. I. Delnietis констатує, що навіть у випадках блідої руки без пульсу після репозиції та фіксації перелому можливе відновлення променевого пульсу (до 30% випадків). За відсутності, а тим більше погіршення гемодинаміки показане екстрене хірургічне дослідження артерії [5,7].

При рожевій руці без пульсу без ознак погіршення судинного стану виправданою є контрольована очікувальна тактика. R. Štichhauer і співавтори за результатами власних досліджень констатують, що судинні оперативні втручання в пацієнтів із рожевими руками без пульсу сприяють швидшому відновленню периферичної пульсації, однак у довгострокових термінах спостереження немає суттєвих відмінностей порівняно з групою пацієнтів, яким не виконано таких оперативних втручань [19,23].

Однак період очікування має бути достатньою мірою забезпечений як клінічним, так і інструментальним моніторингом [11].

## Висновки

Нейроваскулярні ускладнення при НППК у дітей і підлітків трапляються в близько 14% випадків. Серед ятрогенних ушкоджень нервів найчастіше спостерігаються пошкодження ліктьового нерва, пов'язані із застосуванням перехресної фіксації. Незважаючи на традиційний підхід у вигляді очікувальної тактики, слід обирати метод лікування, базуючись на ступені сенсорних і рухових розладів.

Типовими васкулярними порушеннями є біла/рожева рука без пульсу, що потребує невідкладної репозиції і внутрішньої фіксації відламків. Подальша тактика залежить від показників клінічного та інструментального моніторингу, негативна динаміка яких є підґрунтям для судинних оперативних втручань.

*Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.*

## References/Література

1. Afaque SF, Singh A, Maharjan R et al. (2020). Comparison of clinicradiological outcome of cross pinning versus lateral pinning for displaced supracondylar fracture of humerus in children: A randomized controlled trial. J Clin Orthop Trauma. 11(2): 259-263. doi: 10.1016/j.jcot.2019.01.013.
2. Azarias Santos I, Crus MAF, Souza RC et al. (2024). Epidemiology of Supracondylar Fractures of the Humerus in Children. Archives of health investigation. 13(1): 18-23. doi: 10.21270/archi.v13i1.6324.
3. Chrenko R, Hanco M, Grega M et al. (2024). Peripheral nerve injuries associated with dislocated supracondylar fractures of distal humerus in children: incidence and need of surgical treatment. Childs Nerv Syst. 40(11): 3771-3776. doi: 10.1007/s00381-024-06497-3.
4. Deininger S, Antoniadis G, Pedro MT. (2024). Funktionelle Ergebnisse peripherer Nervenverletzungen nach kindlichen supracondylären Humerusfrakturen: Vergleich operativer und konservativer Behandlung. Handchir Mikrochir Plast Chir. 56(1): 93-98. doi: 10.1055/a-2254-2465.
5. Delnietis I, Delnietis A, Saloupis P et al. (2019). Management of the Pediatric Pulseless Supracondylar Humeral Fracture: A Systematic Review and Comparison Study of «Watchful Expectancy Strategy» Versus Surgical Exploration of the Brachial Artery. Ann Vasc Surg. 55: 260-271. doi: 10.1016/j.avsg.2018.05.045.
6. Duffy S, Flannery O, Gelfer Y et al. (2021). Overview of the contemporary management of supracondylar humeral fractures in children. Eur J Orthop Surg Traumatol. 31(5): 871-881. doi: 10.1007/s00590-021-02932-2.

## Reviews

7. Goh WCK, Ong EJY, Lee NKL et al. (2024). Systematic review of paediatric pulseless pink humerus supracondylar fractures. *J Pediatr Orthop B*. 33(5): 468-476. doi: 10.1097/BPB.0000000000001149.
8. Graff C, Dounas GD, Sung J et al. (2022). Management of iatrogenic ulnar nerve palsies after cross pinning of pediatric supracondylar humerus fractures: A systematic review. *Journal of Children's Orthopaedics*. 16(5): 366-373. doi: 10.1177/18632521221124632.
9. Gutwerk A, Behrendt P, Vetter S et al. (2022). Retrospective mid-term followup of posttraumatic and iatrogenic neurovascular complications in surgically treated paediatric patients with distal humerus fracture. *Children (Basel)*. 9(9): 1349. doi: 10.3390/children9091349.
10. Harris LR, Arkader A, Broom A et al. (2019). Pulseless Supracondylar Humerus Fracture With Anterior Interosseous Nerve or Median Nerve Injury — An Absolute Indication for Open Reduction? *J Pediatr Orthop*. 39(1): 1-7. doi: 10.1097/BPO.0000000000001238.
11. Heyer JH, Mitchell SL, Garcia S et al. (2022). A Modern Day Timeline for In-Hospital Monitoring in Perfused, Pulseless Pediatric Supracondylar Humerus Fractures. *J Pediatr Orthop*. 42(10): 589-594. doi: 10.1097/BPO.0000000000002241.
12. Hope N, Varacallo MA. (2023, Aug 4). Supracondylar Humerus Fractures. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. PMID: 32809768.
13. Joyce KM, Dony A, Whitehouse H et al. (2024). Neurovascular injury from supracondylar fractures in children: a 10-year experience of 762 cases. *J Hand Surg Eur*. 49(4): 483-489. doi: 10.1177/17531934231201925.
14. Kanumuri S, Subhansab SK, AgarwalHarding K.J. et al. (2024). Open Exploration and Reduction of Paediatric Supracondylar Humerus Fracture with Pink, Pulseless Hand in Resource-Limited Settings. *J Hand Surg Asian Pac*. 29(2): 118-124. doi: 10.1142/S2424835524500139.
15. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J et al. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *PLoS Med*. 6(7): e1000100. doi: 10.1371/journal.pmed.1000100.
16. Mannan M, Eisha S, Afridi A. (2024). A Comparison of Nerve Injury in Cross Versus Lateral Pinning Fixation of Displaced Supracondylar Humerus Fracture. *Cureus*. 16(9): e70404. doi: 10.7759/cureus.70404.
17. Özcan M, Altinöz Ö, Erem M et al. (2020). Prognosis and Risk Factors of Nerve Injuries in Displaced Pediatric Supracondylar Humerus Fractures. *Nigerian Journal of Clinical Practice*. 23(5): 647-653. doi: 10.4103/njcp.njcp\_575\_18.
18. Phan MDM, Tran QN, Vo NQD et al. (2024). Treatment of Pink Pulseless Hand Following Supracondylar Fractures of the Humerus in Children. *J Hand Surg Asian Pac*. Vol. 29(6): 554-560. doi: 10.1142/S2424835524500462.
19. Sabharwal S, Margalit A, Swarup I et al. (2020). The Pulseless Supracondylar Elbow Fracture: A Rational Approach. *Indian J Orthop*. 55(1): 47-54. doi: 10.1007/s43465-020-00273-6.
20. Santos IA, Cruz MAF, Souza RC, Barreto LV da F, Monteiro AF, Rezende LGRA. (2024). Epidemiology of Supracondylar Fractures of the Humerus in Children. *Archives of health investigation*. 13(1): 18-23. <https://doi.org/10.21270/archi.v13i1.6324>.
21. Schädlich IS, Buschbaum S, Magnus T, Reinshagen K, Wintges K, Gelderblom M. (2024, Dec). Median nerve lesions in pediatric displaced supracondylar humerus fracture: A prospective neurological, electrodiagnostic and ultrasound characterization. *Eur J Neurol*. 31(12): e16459. Epub 2024 Sep 4. doi: 10.1111/ene.16459. PMID: 39230443; PMCID: PMC11555132.
22. Shore BJ, Gillespie BT, Miller PE et al. (2019). Recovery of motor nerve injuries associated with displaced, extension-type pediatric supracondylar humerus fractures. *J Pediatr Orthop*. 39: 652-656. doi: 10.1097/BPO.0000000000001056.
23. Štichhauer R, Preis J, Plánka L et al. (2022). Strategy of pulseless pink supracondylar humerus fracture treatment in children: a comparison of two approaches. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 48(5): 3785-3791. doi: 10.1007/s00068-021-01794-x.
24. Tomaszewski R, Pethe K, Kler J et al. (2022). Supracondylar Fractures of the Humerus: Association of Neurovascular Lesions with Degree of Fracture Displacement in Children — A Retrospective Study. *Children*. 9: 308. doi: 10.3390/children9030308.
25. Toğaç S, Eken G, Ermutlu C et al. (2022). Forearm Compartment Pressure Change in Children Operated for Supracondylar Humerus Fracture. *J Pediatr Orthop*. 42(9): 509-515. doi: 10.1097/BPO.0000000000002220.
26. Wilks DJ, Ye X, Biggins R et al. (2023). Median Nerve Palsy in Pediatric Supracondylar Humerus Fractures Recovers Faster With Open Than Closed Reduction. *J Pediatr Orthop*. 43(7): 407-413. doi: 10.1097/BPO.0000000000002424.
27. Wu JP, Lu YT, Wei XX et al. (2024). Epidemiological characteristics and distribution of pediatric supracondylar fractures in South China: a retrospective analysis of 760 cases. *J Pediatr Orthop B*. 33(2): 136-141. doi: 10.1097/BPB.0000000000001089.
28. Xie LW, Wang J, Deng ZQ. (2021). Treatment of pediatric supracondylar humerus fractures accompanied with pink pulseless hands. *BMC Musculoskelet Disord*. 22(1): 26. doi: 10.1186/s12891-020-03877-z.

### Відомості про авторів:

**Левицький Анатолій Феодосійович** – д.мед.н., проф., зав. кафедри дитячої хірургії НМУ ім. О.О. Богомольця. Адреса: м. Київ, ; тел.: +38 (044) 236-70-52. <https://orcid.org/0000-0002-4440-2090>.

**Соболевський Юрій Леонтійович** – к.мед.н., доц. кафедри травматології та ортопедії НМУ ім. О.О. Богомольця. Адреса: м. Київ, бульв. Т. Шевченка, 13; тел.: +38 (044) 288-01-26. <https://orcid.org/0000-0002-8690-8620>.

**Лиходій Віктор Володимирович** – к.мед.н., доц. кафедри травматології та ортопедії НМУ ім. О.О. Богомольця. Адреса: м. Київ, бульв. Т. Шевченка, 13. <https://orcid.org/0000-0002-8125-0225>.

**Ковальчук Дмитро Юрійович** – к.мед.н., доц. кафедри травматології та ортопедії НМУ ім. О.О. Богомольця. Адреса: м. Київ, бульв. Т. Шевченка, 13. <https://orcid.org/0000-0003-3106-6048>.

Стаття надійшла до редакції 13.09.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.

УДК 616.344-002-031.84:612.08

Д.С. Солейко

# Використання моделей *ex vivo*, *in vitro*, мікрофлюїдних пристроїв, технологій тканинної інженерії, визначення їхньої етико-деонтологічної складової в експериментальних дослідженнях хвороби Крона та інших запальних захворювань кишечника

Вінницький національний медичний університет імені М.І. Пирогова, Україна

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 109-122. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).109122

**For citation:** Soleiko DS. (2025). The use of *ex vivo*, *in vitro* models, microfluidic devices, tissue engineering technologies, the determination of their ethical and deontological components in experimental studies of Crohn's disease and other inflammatory bowel diseases. Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 109-122. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).109122.

Експериментальні дослідження актуальних питань хвороби Крона (ХК) та інших запальних захворювань кишечника (ЗЗК) обумовлені підвищенням рівня захворюваності, наявністю нез'ясованих етіологічних факторів, багатьох ланок патогенезу, відсутністю ефективного комплексного лікування, профілактичних заходів виникнення захворювань і попередження їхніх хірургічних ускладнень.

**Мета** – визначити технологічну ефективність, відповідність етико-деонтологічним вимогам, практичне значення, специфічність, результативність і перспективність використання моделей *ex vivo*, *in vitro*, мікрофлюїдних пристроїв, технологій тканинної інженерії в експериментальних дослідженнях актуальних питань ХК та інших ЗЗК.

Різноманітні дослідження *in vivo* мають певні фізіологічні, етичні і трансляційні обмеження, що змушує науковців до здійснення нових методів експериментального пошуку, спираючись на розвиток сучасних технологій. За результатами наукового пошуку охарактеризовано моделі *ex vivo*, *in vitro*, висвітлено використання мікрофлюїдних пристроїв, технологій тканинної інженерії, наведено основні положення та проблемні питання етико-деонтологічної складової експериментальних досліджень хвороби Крона та інших ЗЗК. Наведені переваги, недоліки та практичне значення експериментальних систем.

**Висновки.** Використання моделей *in vitro* та *ex vivo* дає змогу відтворювати і досліджувати фізіологічні, патологічні процеси з високим рівнем специфічності. Застосування технологій тканинної інженерії та мікрофлюїдики дає можливість зменшити кількість піддослідних тварин. Використання людських біологічних зразків потребує суворого дотримання етико-деонтологічних та юридично-правових норм. Впровадження мікрофлюїдних пристроїв і роботизованих платформ забезпечує високу результативність у розробленні методів таргетної терапії, визначенні й прогнозуванні лікувального ефекту медичних препаратів, дослідженні фізіологічних і патологічних процесів при ХК та інших ЗЗК. Інтеграція мікрофлюїдних систем зі штучним інтелектом і роботизованими платформами, використання біологічних гідрогелів і технології 3D-біодруку сприятимуть створенню мультиорганних мереж для відносно тривалих експериментальних досліджень ЗЗК, реєстрації та аналізу їхніх результатів без порушення цілісності експериментальної системи.

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** хвороба Крона, запальні захворювання кишечника, експериментальні дослідження, мікрофлюїдика, моделі *ex vivo*, моделі *in vitro*, тканинна інженерія, деонтологія, етика.

## Reviews

### The use of *ex vivo*, *in vitro* models, microfluidic devices, tissue engineering technologies, the determination of their ethical and deontological components in experimental studies of Crohn's disease and other inflammatory bowel diseases

D.S. Soleiko

National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya, Ukraine

Experimental studies of current issues of Crohn's disease (CD) and other inflammatory bowel diseases (IBD) are due to the increase in morbidity, the presence of unclear etiological factors, many links in pathogenesis, the lack of effective comprehensive treatment, preventive measures for the occurrence of diseases and the prevention of its surgical complications.

**Aim** – to determine the technological efficiency, compliance with ethical and deontological requirements, practical significance, specificity, effectiveness and prospects for using *ex vivo*, *in vitro* models, microfluidic devices, tissue engineering technologies (TET) in experimental studies of current issues of CD and other IBD.

Various *in vivo* studies have certain physiological, ethical and translational limitations, which forces scientists to implement new methods of experimental search, relying on the development of modern technologies. According to the results of scientific literature search, *ex vivo*, *in vitro* models are characterized, the use of microfluidic devices and TET is highlighted, the main provisions and problematic issues of the ethical and deontological component of experimental studies of Crohn's disease and other IBD are given. The advantages, disadvantages, and practical significance of experimental systems are presented.

**Conclusions.** The use of *in vitro* and *ex vivo* models provides the opportunity to reproduce and study physiological, pathological processes with a high level of specificity. The use of TET and microfluidics technologies allows to reduce the number of experimental animals. The use of human biological samples requires strict adherence to ethical, deontological and legal norms. The introduction of microfluidic devices and robotic platforms ensures high efficiency in the development of targeted therapy methods, determination and prediction of the therapeutic effect of medical drugs, research of physiological and pathological processes in Crohn's disease and other IBD. The integration of microfluidic systems with artificial intelligence and robotic platforms, the use of biological hydrogels and 3D-bioprinting technology allows the creation of multi-organ networks for relatively long-term experimental studies of IBD, registration and analysis of their results without violating the integrity of the experimental system.

The author declares that there is no conflict of interest.

**Keywords:** Crohn's disease, inflammatory bowel diseases, experimental studies, microfluidics, *ex vivo* models, *in vitro* models, tissue engineering, deontology, ethics.

Питома вага хронічних неінфекційних захворювань у структурі летальності у світі становить 74% [46]. Хвороба Крона (ХК) є неспецифічним гранулематозним запаленням шлунково-кишкового тракту. Хронічний рецидивний перебіг ХК суттєво збільшує ризик розвитку в пацієнтів кишкової малігнізації. Належить до групи запальних захворювань кишечника (ЗЗК), яким притаманні хірургічні ускладнення (кровотечі, кишкова непрохідність, нориці, перфорації, стриктури, септичний стан) і позакишкові прояви (ураження тканин ділянки ока, печінки, суглобів, шкірних покривів). Причини ХК, як і переважної більшості інших ЗЗК, не визначені, а його індукція є наслідком поєднання багатьох факторів різного генезу. Патогенез і патофізіологія ЗЗК багатокомпонентні, складні та остаточно не досліджені. Збільшення кількості хворих на ЗЗК є загальносвітовою тенденцією і в сукупності із викладеними проблемними маркерами обумовлює актуальність продовження наукового пошуку.

**Мета** дослідження – визначити технологічну ефективність, відповідність етико-деонтологічним вимогам, практичне значення, специфічність, результативність і перспективність використання моделей *ex vivo*, *in vitro*, мікрофлюїдних пристроїв,

технологій тканинної інженерії (ТІ) в експериментальних дослідженнях актуальних питань ХК та інших ЗЗК.

Невід'ємною частиною наукових досліджень у біології та медицині є експериментальний етап. Дослідження із використанням різних біологічних видів *in vivo* є необхідними та результативними. Перевагами таких експериментів є максимально наближене за адресними ознаками до людського організму середовище, можливість дослідження протягом тривалого часового проміжку, моделювання умов хронічного патологічного процесу, визначення та фіксація системних відповідей, ефектів інших органів і систем досліджуваного біологічного виду. Певні видові, технічні недоліки та етичні обмеження, локація умовного експериментального простору моделей *in vivo* на тканино-органному рівні лімітують їх використання [39]. Передусім це стосується обмеженої здатності визначення прогнозу клінічної ефективності діагностично-лікувальних засобів, наслідків і можливих ускладнень захворювань у людей. Дослідження *ex vivo* та *in vitro* є фундаментальним розділом ТІ – міждисциплінарної наукової галузі, розділу регенеративної медицини, у який імплементовані біологія, інженерія, медици-

на, фізика і хімічні науки. Перспективність, результативність і безпечно впровадження ТІ в клінічних дослідженнях полягає в міждисциплінарній взаємодії науковців, фахівців відповідних інженерних спеціальностей, клінічних працівників, у їхній фаховій орієнтації, у відповідних експертних теоретичних знаннях, практичних дослідницьких навичках, взаємному обміні знаннями [11,32].

Завданням ТІ є створення біологічних заміників органів і тканин, мультиорганних тест-систем *ex vivo* для наукових досліджень у біологічних і медичних галузях, таких як фармакокінетика, для визначення транспортування ліків [34]. ТІ також відтворює живі біологічні тканини, використовуючи клітини (наприклад, стовбурові), молекули та інші біологічні структури. Процес відбувається в умовах лабораторії (*in vitro*) або в людському організмі [8]. Біологічні експериментальні моделі *ex vivo* та *in vitro* дають змогу проводити дослідження на рівні органел і клітин, моделювати природне середовище, яке оточує органели/клітини, із визначеними необхідними параметрами, здійснювати адресний моніторинг, визначати та фіксувати прижиттєві експериментальні зміни під час досліджень *in situ*.

Комбінування в експериментальних дослідженнях технологій мікрофлюїдики, клітинної біології та електроніки дало змогу вийти на принципово новий рівень моделей *ex vivo* та *in vitro*, який виключає безпосередню участь представників біологічних видів. Мікрофлюїдика виникла на початку 80-х років ХХ сторіччя як міждисциплінарний простір взаємодії молекулярної біології, молекулярного аналізу та мікроелектроніки. Мікрофлюїдна система – це компактна камера з мікроканалами, у яких створюється потік певної рідини. Розміри мікроканалів вимірюються в мікрометрах, а кількість рідини – у мікролітрах. Мікрофлюїдні моделі *in vitro* та *ex vivo* ефективні в дослідженнях біологічних процесів людського організму на рівні клітин, органел і молекулярних комплексів. Можливість здійснення тривимірного аналізу морфологічних характеристик кишкового епітелію без припинення експерименту є гарним прикладом перспективності та ефективності використання мікрофлюїдних технік. Практичне значення мікрофлюїдних пристроїв полягає в можливості опрацювання як невеликої кількості зразків, так і достатньо значної, у невеликій потребі в реактивах і необхідних хімічних речовинах, тривалому зберіганні зразків. Мікрофлюїдним системам притаманна мінімальна інвазивність, компактність, точність і швидкість порівняно з традиційною апаратурою. Зазначені технології

активно поєднують зі штучним інтелектом, використовують в експериментальних дослідженнях, діагностичних і лікувальних приладах у практичній медицині [14].

#### Етико-деонтологічна складова експериментальних досліджень *ex vivo* та *in vitro*

Дослідження з використанням моделей *ex vivo* та *in vitro* не мають подібних до експериментів *in vivo* етичних і деонтологічних обмежень – вони інші. Проте дискусія про етико-деонтологічні вимоги до експериментів *ex vivo*, *in vitro* триває і вимагає залучення фахівців з етики та суспільних наук. Дослідження і визначення питань етичного характеру має конструктивну і критичну складові. Вони полягають у визначенні найкращих практичних положень, базуються на соціальних науках і філософії використання технологій [18]. Паралельне дослідження етики характеризується конструктивною, а не суто критичною перспективою, зосереджується на розробленні найкращих практик і спирається на ідеї соціальних наук, концепції застосування технологічної складової в експериментальних дослідженнях. Детальний аналіз висвітлює багатогранність питання етико-деонтологічної складової в зазначених групах досліджень ТІ. Науковцями визначені етичні наслідки та регенеративні цілі на всіх етапах досліджень – від лабораторного до клінічного [1].

Фази розвитку досліджень:

- 1) добробут піддослідної тварини,
- 2) належне поводження з досліджуваними людськими тканинами,
- 3) інформована згода пацієнта на власну участь у дослідженні,
- 4) очікуваний терапевтичний потенціал і практичний результат дослідження,
- 5) безпека і можливі ризики дослідження,
- 6) перехід до клінічної фази дослідження,
- 7) прогнозований соціальний вплив дослідження.

Загальні етичні питання:

- 1) наукова доброчесність виконання дослідження і висвітлення його результатів,
- 2) механізми, інструменти, принципи регулювання дослідження,
- 3) залучення пацієнтів і громадськості до участі у відповідних етапах досліджень.

В експериментальних дослідженнях *in vivo* науковці мають дотримуватися чіткого балансу між науковою потребою і відповідністю створюваних моделей до визначених завдань [9]. Стратегія повного або часткового виключення біологічних видів з експериментального пошуку і доклінічних досліджень має забезпечуватися використанням техно-

## Reviews

логії культивування тканин *ex vivo*, моделі органа на чіпі, дослідженням хоріоалантоїсної мембрани, досліджень *in vitro* – СК34 (візуалізація даних та їхній інтелектуальний аналіз), застосуванням децелюляризованої тканини (видалення з тканини шляхом спеціальної обробки клітинних компонентів зі збереженням або мінімізацією втрати тканинних і/або органоспецифічних властивостей позаклітинного матриксу з можливістю збереження судинних, нейронних мереж та архітектури), органоїдів, досліджень *in silico* (комп'ютерне моделювання та симуляція) [35,36,40]. Інші механізми полягають у безперервному моніторингу стану кожного піддослідного біологічного об'єкта, дослідженні одразу декількох видів біологічного матеріалу на одній тварині, створенні однієї великої біологічної моделі замість чисельного моделювання на мілких тваринах, невикористанні домашніх тварин і приматів, не подібних до людини, удосконаленні та проведенні самих експериментів для зменшення/уникнення страждань [2,28]. Принципи проведення експериментів із залученням біологічних видів полягають у заміні, зменшенні, вдосконаленні. Має бути визначена прогностична цінність і відповідність тваринної моделі патологічного процесу для людського організму. У використанні компонентів клітинних каркасів і тканинних культур перевага має надаватися зразкам не тваринного і не людського походження, а синтетичним штучним каркасам. Методи взяття зразків тканин на дослідження мають бути безболісними і безпечними для донора, що забезпечується використанням неінвазивних біопсійних технологій. Біопсія, використання і зберігання зразків тканин здійснюються виключно за згоди донора/його опікунів [6]. Пацієнт має отримувати всебічну інформаційну підтримку. З різних етичних, моральних, хибних прогностичних та інших причин, невизначеності можливих негативних наслідків і ризиків для донора, наявності терапевтичної помилки, згода може бути оскаржена в порядку, визначеному відповідними положеннями чинного законодавства. Перед взяттям, використанням і зберіганням біологічних зразків донор має бути поінформований про мету їхнього майбутнього використання і наявність можливих його фінансових інтересів або сторони, яка здійснює дослідження. Має бути дотримана конфіденційність особистої інформації особи. Інформація має бути анонімною. Актуальним і дискусійним питанням залишається визначення чітких правових умов створення біобанків будь-якої форми та права власності, необхідності патентування продуктів ТІ [8,11].

Слід зазначити, що комерціалізація використання людських тканин в експериментальних дослідженнях не сприяє дотриманню принципів альтруїстичного добровільного донорства та збільшує можливі ризики корисної експлуатації самих донорів [10].

«Терапевтична обіцянка» в клінічних дослідженнях за участі добровольців полягає в забезпеченні лікування захворювань, які не мають альтернативних ефективних і/або безпечних методів корегування, можуть стати альтернативою трансплантації донорських органів і зменшують/усувають необхідність імуносупресії. Кінцевий результат має бути спрямований на поліпшення загального стану та життя хворого [17].

Використання регенеративних методів ТІ має враховувати фактори імуногенності, мутагенезу, онкогенності, цитотоксичності, динамічної взаємодії з межуєчими тканинами людського організму, мінливості та незворотності індукованих змін. Відповідні заходи безпеки не повинні бути надмірно обтяжливими, їхнім завданням є забезпечення мінімізації можливих ризиків, пропорційності очікуваної користі для окремого пацієнта і суспільства в цілому. Спостереження і визначення стану учасника дослідження має бути тривалим, систематичним і всебічним. Хворий має бути ознайомлений з усіма результатами обстеження [41].

На першому етапі клінічних випробувань залучають хворих із середнім ступенем тяжкості або термінальною стадією захворювання. Мають констатуватись об'єктивні, суб'єктивні, кінцеві маркери та результати, загальна виживаність у досліджуваній групі [15].

Висвітлення доведених результатів клінічних досліджень має бути всебічним та об'єктивним. Це забезпечує відсутність упередження до запропонованих інноваційних методів обстеження, лікування та їхню відтворюваність. Дослідники мають усвідомлювати етичні та соціальні наслідки проведеної наукової роботи [8].

### Моделі *in vitro*

Експериментальні дослідження *in vitro* – дослідження біологічного матеріалу в лабораторних умовах (у перекладі з латинської – «у склі»).

#### Епітеліальні клітинні лінії

8 лютого 1951 року американський клітинний біолог Джордж Отто Гей (George Otto Gey) отримав клітини раку шийки матки від 31-річної афроамериканки Генрієти Лекс (Henrietta Lacks), яка невдовзі померла від зазначеного онкологічного захворювання. Це поклало початок першій іморталізованій (безсмертній) лінії людських клітин HeLa [3].

У подальшому з ізолятів людських або тваринних клітин були культивовані інші іморталізовані клітинні лінії: Vero, LS174T, Caco2, HEK293, SW480, Jurkat, MUTZ-3, HT29, 3T3, OK, Ptk2, Huh7, A549, T84 та ін. Сутність іморталізованих клітинних ліній полягає в здатності культивування ізольованих клітин *In vitro* протягом тривалого часу завдяки мутаціям, які нівелюють процес старіння [25].

Клітини іморталізованих ліній використовуються для відтворення моделей злоякісних клітин і створення моделей структурних елементів тканин людського організму. Наприклад, клітини Caco2 здатні диференціюватися в клітини кишкового епітелію людини. Утворюючи суцільний клітинний шар, вони експресують відповідні білки та гени, притаманні кишечнику людини [25]. Субклональні клітини HT-29-MTX, HT-29-H використовуються для дослідження проникності та абсорбції медичних препаратів завдяки здатності продукувати слиз. Епітеліальні іморталізовані клітинні лінії дали змогу відкрити чотири нові рецептори людського кишечника, визначити протизапальний ефект бактерій роду *Lactobacillus*, захисні та відновлювальні властивості пробіотичних бактеріальних штамів [33].

Моделі кишкових клітин тваринного походження використовуються для дослідження взаємодії людського кишечника та його мікробіому, процесів розвитку кишечника в неонатальному періоді [33].

Недоліками клітинних ліній є те, що вони відрізняються від клітин, отриманих шляхом біопсії. Наприклад, у клітинах лінії Caco-2 це стосується процесів біосинтезу білків щільного сполучення, ферментативних і транспортних сполук, неможливості продукування слизового секрету. Клітини лінії HT-29 характеризуються наявністю бар'єра підвищеної герметичності та порушенням процесів гліюконеогенезу, гліюколізу. HT-29 утворюють герметичний бар'єр і мають порушений метаболізм гліюкози [21]. Такі фактори, як різномірність клітинних ліній, що мають походження з новоутворень, неоднакові умови культивування, є причиною утворення субклональних ліній, відсутності експериментальної ідентичності при відтворенні та моделюванні різних експериментальних моделей у різних дослідницьких центрах [30].

#### Метод аналізів клітинної міграції та інвазії Transwell

Метод передбачає використання двох заповнених поживним середовищем камер, розділених пористою мембраною з наявністю матриксу або без нього. У верхній камері розташовують клітини, а в нижній – хемотаксичну (похідне від хемотаксис) речо-

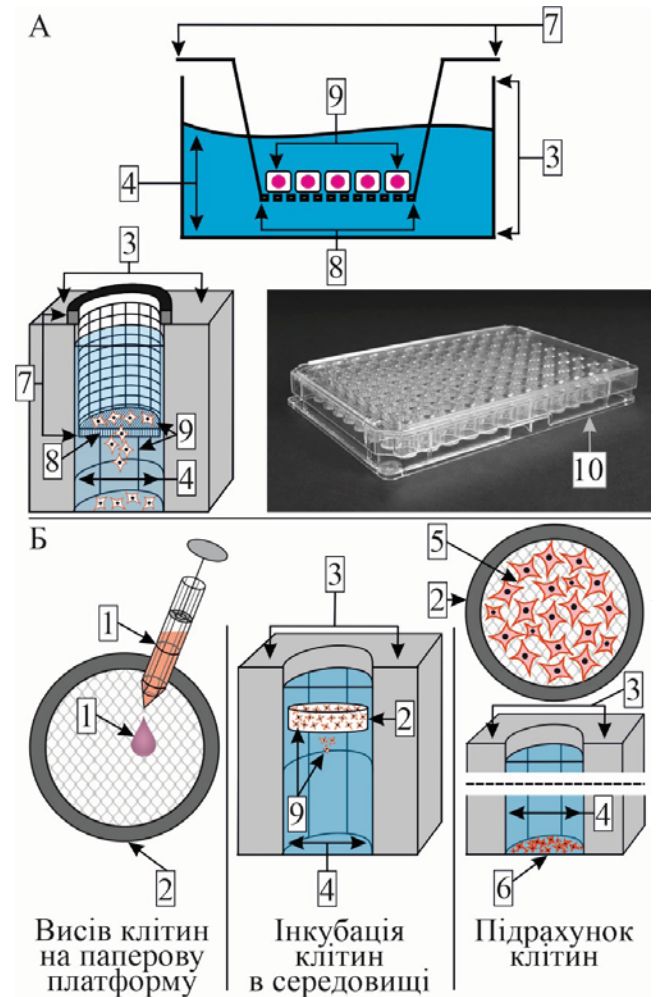


**Рис. 1.** Системи Transwell, загальний і схематичний вигляд будови, принцип проведення досліджень: А – система Transwell із використанням камер; Б – система Transwell на паперовій основі: 1 – культура клітин в екстрацелюлярному матриксі, 2 – паперова основа, 3 – камера 96-лункового планшета, 4 – хеомікнвмісне середовище, 5 – неінвазивні клітини на паперовій основі, 6 – інвазивні клітини в хеомікнвмісному середовищі, 7 – камера з напівпроникною мембраною, 8 – напівпроникна мембрана, 9 – культуральні клітини, 10 – 96-лунковий планшет, загальний вигляд (фотографія із сайту [www.analytical-sales.com](http://www.analytical-sales.com))

#### Кишкові органоїди

Кишкові органоїди – це вирощені *in vitro* зі стовбурових клітин тривимірні клітинні мікроструктури з внутрішнім вільним простором – ентероїди та колоноїди. Вони мають здатність до гістогенезу і регенерації при відповідному методі культивування. Стовбурові клітини, з яких відбувається проліферація ентероїдів і колоноїдів, отримують із людських кишкових біопатів. Потім їх розміщують у гідрогелі, який містить позаклітинний матрикс, фактори росту та культуральне середовище [5]. Кишковим органоїдам притаманний біосинтез фармакокінетичних ферментів (рис. 2).

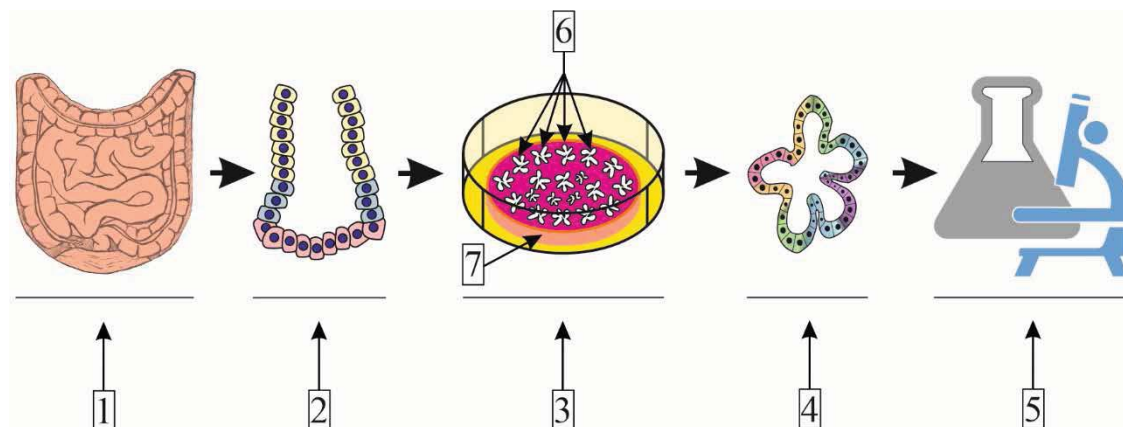


**Рис. 2.** Схема культивування органоїдів: 1 – тканини кишечника людини, 2 – ізольована крипта з тканин кишечника, 3 – проліферація стовбурових клітин у культуру органоїдів, 4 – органоїди, 5 – використання органоїдів у дослідженнях, 6 – стовбурові клітини, 7 – гідрогель із позаклітинним матриксом, культуральним середовищем і факторами росту

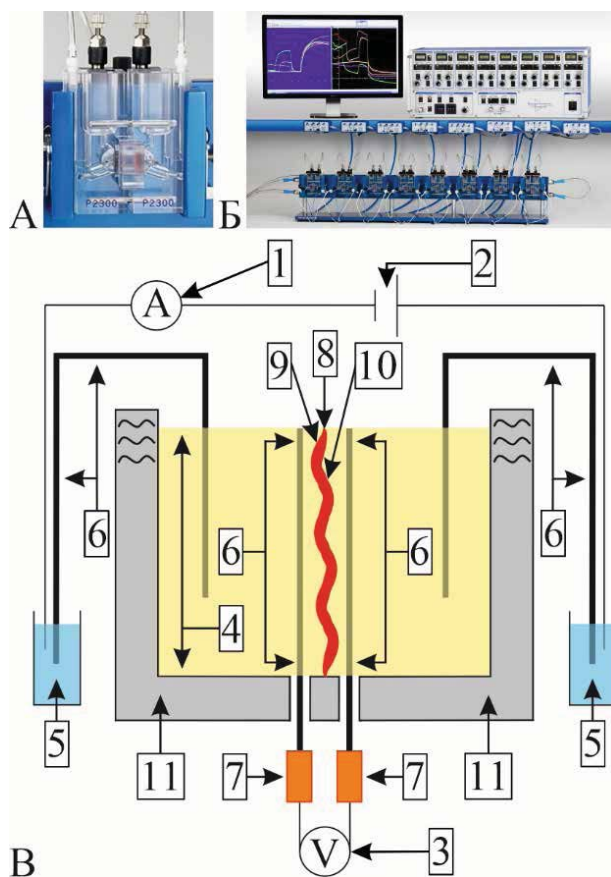


**Рис. 3.** Загальний і схематичний вигляд камери Уссінга: А – загальний вигляд камери Уссінга; Б – загальний вигляд системи із використанням камер Уссінга, мультиканального вольтамперного блок-фіксатора і монітора; В – схематичний вигляд будови камери Уссінга: 1 – амперметр, 2 – джерело постійного електричного струму, 3 – вольтметр, 4 – розчин Кребса-Рінгера, 5 – розчин насичений хлоридом калію (KCl) і хлоридом срібла (AgCl), 6 – агарові містки, 7 – KCl-каломельні електроди, 8 – кишковий сегмент, 9 – поверхня слизового шару, 10 – поверхня серозного шару, 11 – «водяна сорочка» із підтриманням сталої температури камери 37°C (фотографії з сайту <https://physiologicinstruments.com>)

Органоїди використовують для дослідження кишкового епітелію, ембріогенезу кишечника, регенерації тканин, репаративних процесів і зменшення ризику малігнізації при 33К, розроблення ліків для муковісцидозу, впливу на кишечник і людський організм мікробних токсинів, дослідження паразитарних, вірусних і бактеріальних інфекцій. Але відсутність стромальних, судинних, імунних складових і мікробіому не дає змоги відтворити зазначені процеси *in vivo*. Процес культивування органоїдів є матеріально витратним, а обмеженість збільшення масштабності експериментів з органоїдами та проблема їхнього культивування з іншими клітинними штамами обмежує використання в наукових експериментах [25,30].

#### Моделі *ex vivo*

Експериментальні дослідження *ex vivo* – дослідження живого біологічного матеріалу (тканин) поза організмом господаря в умовах максимально наближених до природних.

#### Камера Уссінга

У 1950 р. датський зоолог Ганс Хенріксен Уссінг (Hans Henriksen Ussing) розробив пристрій для дослідження механіки активного транспорту речовин у тканинах кишечника. Пристрій отримав назву «камера Уссінга», яка використовується для дослідження іонного транспортування в слизовій оболонці кишечника та інших тканинах. Камера містить електроди, які вимірюють напруги та електричні струми короткого замикання з метою визначення руху іонів через шар епітеліальних клітин [19]. Сучасна модифікація камери складається з 2 півкамер, які містять отвори для робочого розчину (розчин Кребса-Рінгера), газової трубки та 2 електродів. Завдяки цьому відтворюються базолатеральний та апікальний шари досліджуваної тканини. Між півкамерами роз-

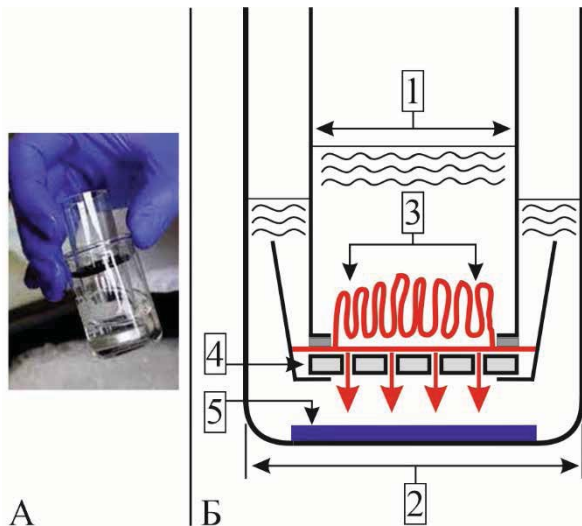


**Рис. 4.** *InTESTine™*, загальний і схематичний вигляд: А – загальний вигляд; Б – схематичний вигляд: 1 – апікальна камера, 2 – базолатеральна камера (бік кровоносних судин), 3 – кишковий сегмент *ex vivo*, 4 – напівпроникна мембрана, 5 – інвазивні біологічні структури, які подолали бар'єр напівпроникної мембрани (фотографія з сайту <https://www.tno-pharma.com>)

ташований слайдер для досліджуваної тканини, якою може бути біопсійний матеріал, епітеліальна тканина або клітинний моношар. За допомогою зазначеного пристрою фіксують струм короткого замикання, трансепітеліальний опір, провідність і напругу. Це надає можливість дослідження трансмембранного транспорту іонів, цілісності та щільності епітеліального бар'єра. У визначенні результатів досліджуваних показників використовують спектрофотометрію та відповідне програмне забезпечення (рис. 3).

Практичне значення зазначеного пристрою полягає в дослідженні ентеротоксинів і транслокації бактеріальних штамів, таких як *Shigella*, *Enterococcus faecalis*, дослідженні процесів взаємодії «хазяїн-мікробіом» як одного з етіологічних факторів ЗЗК. Недоліками камери Уссінга є мала пропускна спроможність, неможливість проведення тривалих експериментальних досліджень і технічна складність її використання [19].

#### Система *InTESTine™*

Нідерландська організація з прикладних досліджень у природничих науках TNO (Nederlands Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek) розробила нову модель *ex vivo* тканини *InTESTine™*.

Перевагами *InTESTine™* порівняно з камерою Уссінга є можливість одночасного дослідження декількох різних сегментів кишкової трубки, які від-

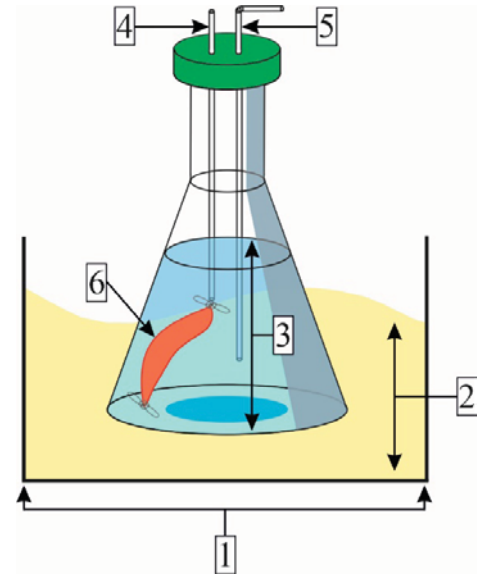


**Рис. 5.** Схематичний вигляд моделі вивернутого кишкового мішка: 1 – термостатична водяна камера для дотримання сталої температури системи, 2 – водне середовище, 3 – сольовий розчин із поживними речовинами, 4 – з'єднувальна трубка, 5 – трубка для подачі кисню або газової суміші, 6 – вивернутий кишковий сегмент

повідно мають різні морфологічні, структурні та анатомо-фізіологічні характеристики, а також можливість проведення дослідження за участі слизового шару, у присутності або відсутності мікробіоти. Завдяки можливості горизонтального налаштування за допомогою відповідного пристрою можна досліджувати одночасно до 96 зразків кишкової тканини тривалістю до 26 годин (рис. 4).

Систему *InTESTine™* використовують для визначення токсичності ліків, дослідження дифузії та транспортування медичних препаратів через стінку кишки, дослідження абсорбції ліків для перорального застосування, різноманітних фізіологічних процесів кишечника та інших відділів шлунково-кишкового тракту, ранніх відповідей імунної та ендокринної системи [25,33]. Недоліками зазначеного методу досліджень є обмежена життєздатність досліджуваної біологічної тканини і складність підготовчого етапу.

#### Модель вивернутого кишкового мішка

Джеральд Вайзман (Gerald Wiseman) і Томас Хастінгс Вільсон (Thomas Hastings Wilson) у 1954 р. впровадили та представили модель вивернутого кишкового мішка, яка полягає в сегментації певного відділу кишки піддослідної тварини, вивертанні відповідних сегментів, їхній санації, заповненні розчином Кребса-Рінгера і зануренні в колбу з трубкою для аерації за температури 37°C (рис. 5). Розчин Кребса-Рінгера є багатокомпонентним глюкозо-со-

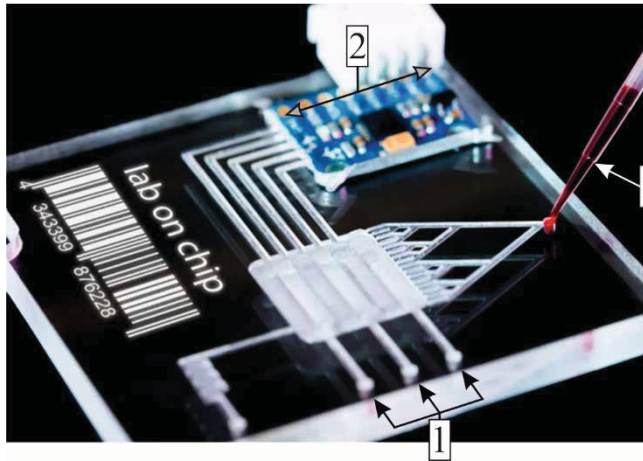


**Рис. 6.** Загальний вигляд блока експериментальної мікрофлюїдної системи «орган на чіпі»: 1 – мікроканали, 2 – електронний блок керування параметрами відтворюваних фізіологічних процесів у мікроканалах, 3 – культура клітин у середовищі (фотографія з сайту <https://amf.ch>)

льовим розчином, який застосовують в експериментальних дослідженнях фізіології людських тканин і для перфузії органів поза організмом.

Модель використовують для дослідження абсорбції, метаболізму, транспортування та дифузії медичних препаратів у кишечнику. Недоліками моделі є нетривала життєздатність біологічних тканин (лише до 2 годин), чисельні анатомо-фізіологічні фактори піддослідної тварини, мінливість факторів рідинного середовища, обмеженість порівняльної ідентичності фізіологічного і патологічних станів лабораторної тварини та людського організму [19,37].

#### *Мікрофлюїдні моделі кишки на чіпі*

Концепція кортико-вісцеральної теорії полягає в керуванні, контролюванні та регулюванні головним мозком життєдіяльності внутрішніх органів за участі нервової системи. Взаємовідносини кори головного мозку та певного органа є взаємним процесом зі свідомою та несвідомою компонентами. Відповідно фізіологічні/патологічні зміни одночасно відбуваються як у периферійних органах, так і в центральній нервовій системі. На підставі зазначеної теорії розроблена концепція «весь мозок – тіло» і «весь мозок – орган». Фізіологія кишечника – це сукупність складних взаємовідносин між головним мозком, кишковими структурами, імунними механізмами, внутрішньокішковим середовищем, мікробіотою, кишковим вмістом, секреторними та перистальтичними процесами. Концептуально обґрунтовані моделі *in vivo*, за участі різних біологічних видів, залишаються основним методом дослідження актуальних питань фізіології та захворювань кишечника. Але вони мають недоліки та

обмеження самої використовуваної біологічної системи, які ми вже висвітлювали [39]. Моделі *in vitro* обмежуються залученням у дослідження культуральних клітин та органоїдів. У них виключена можливість дослідження фізіологічних і патологічних процесів на тканинному рівні. Це обумовило пошук науковцями нових експериментальних підходів. Мікрофлюїдні моделі кишки на чіпі є принципово новим методом дослідження функціональних процесів кишечника за участі кишкового мікробіому і/або різних клітинних популяцій. Моделі кишки на чіпі є представником модельного експериментального ряду систем, які отримали назву «орган на чіпі» або «лабораторія на чіпі» (рис. 6) [16].

Вони вважаються мікрофізіологічними експериментальними системами і є науково доведеною з'єднувальною складовою в системі «дослідження *in vivo* → лабораторія на чіпі → клінічні випробування» [16]. Кишка на чіпі – це штучна модель певного відділу кишечника із визначеним контрольованим клітинним і біохімічним складом. Системи складаються з пористої мембрани із фіксованими на ній клітинами кишкового епітелію, яка є напівпроникним бар'єром між 2 мікроканалами. Верхній мікроканал моделює просвіт кишкової трубки, а нижній – судини стінки певного сегмента людського кишечника. Напівпроникна мембрана бере участь у дифузному транспортуванні поживних речовин і молекулярних структур (рис. 7) [42].

Мікроканали можуть бути дворівневими, що використовуються в дослідженнях і дифузії певних хімотерапевтичних препаратів, таких як циклофосфамід. Матеріал для мембрани обирається залежно від мети дослідження, а через мембранні пори здійснюється міжканальне транспортування розчинних молекул. Мембрана може піддаватися штучному фізичному розтягуванню з метою імітації перистальтичних рухів. Зазвичай у якості кишкових епітеліальних клітин використовуються клітини іморталізованої лінії Caco2, які розташовуються в пристрої в середовищі, де за певний час відбувається їхня адгезія. За допомогою шприца, перистальтичних насосів або сили природного тяжіння створюється потік середовища, який забезпечує клітини поживними речовинами і видаляє продукти їхньої життєдіяльності, мертві клітини, підтримує та збільшує суцільність кишкового епітеліального шару [46]. Моделювання компоненти кишкового мікробного середовища здійснюють внесенням у відповідний мікроканал культивованих штамів патогенних і непатогенних мікроорганізмів, пробіотиків або багатокомпонентної людської фекальної

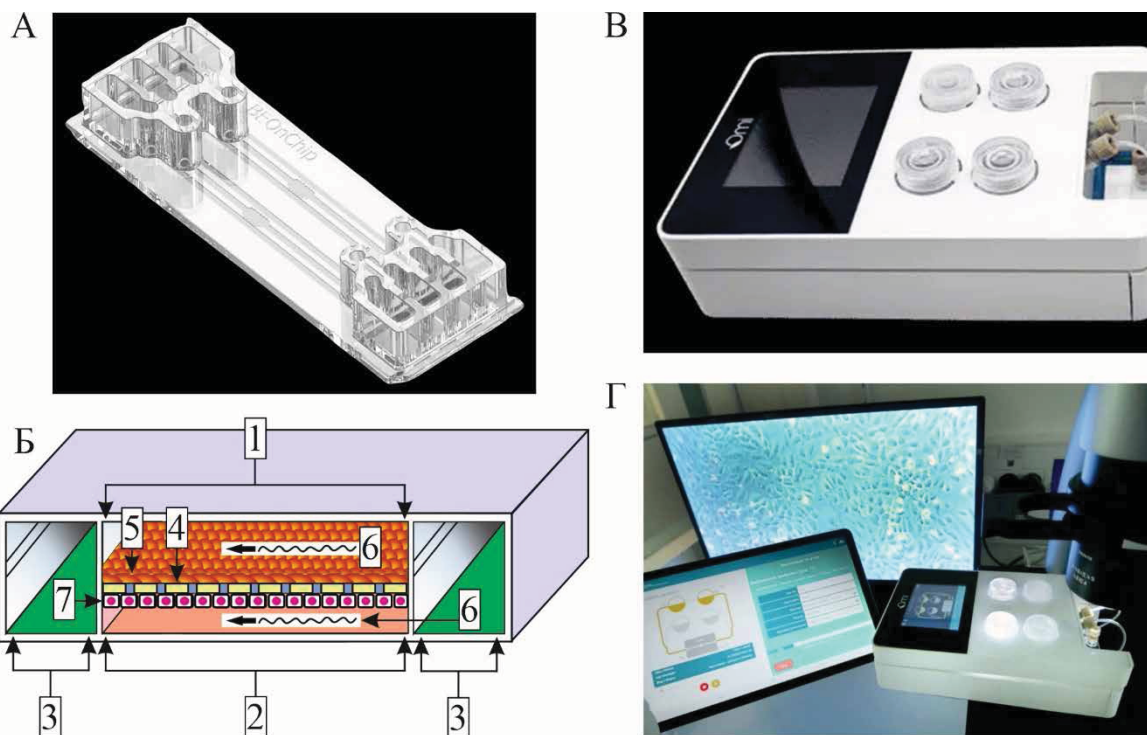


**Рис. 7.** Загальний і схематичний вигляд мікрофлюїдної моделі кишки на чіпі: А – загальний вигляд градієнтного чіпа потоку для 3D-культур клітин мікрофлюїдної моделі кишки на чіпі; Б – схематичний вигляд будови та принципу роботи градієнтного чіпа потоку для 3D-культур клітин мікрофлюїдної моделі кишки на чіпі; В – загальний вигляд автоматизованої платформи кишки на чіпі; Г – загальний вигляд автоматизованої системи кишки на чіпі із використанням платформи, електронних засобів керування, візуалізації та реєстрації: 1 – верхній мікрофлюїдний канал, 2 – нижній мікрофлюїдний канал, 3 – бокові вакуумні камери, 4 – напівпроникна мембрана, 5 – моношар кишкових органодів, 6 – схематичне позначення потоку середовища, 7 – інші кишкові клітини (фотографії з сайту <https://www.fluigent.com>)

мікробіоти [12,38]. Процес потоку середовища ініціює диференціацію кишкових епітеліальних клітин із подальшим утворенням ворсинчастих 3D-структур, структурно та функціонально ідентичних із ворсинками кишечника людини. За допомогою створення вакуумних умов у бічних камерах приладу відтворюють перистальтичні кишкові рухи. Можливість створення штучного керованого кисневого градієнту дає змогу імітувати фізіологічний стан гіпоксії кишкового простору та одночасно культивувати облигатні анаеробні штами з факультативними анаеробними штамами кишкових мікроорганізмів, клітинами іморталізованих ліній. Для відтворення кишкової мікроархітектури шляхом 3D-друку створюють каркас, на якому культивують клітини, які, своєю чергою, утворюють просторово розташовану вісь «крипта–ворсинка». Це дає змогу досліджувати процеси взаємодії мікробіоти і людського кишечника. У мікрофлюїдних системах також застосовують органодів. Метод дослідження допомагає довести життєздатність і метаболічну активність кишкових тканин протягом 8 годин після резекції. Складні моделі кишки на чіпі містять капілярні ендотеліальні, епітеліальні, фібробластні,

імунні клітини. Коменсальна мікрофлора міститься в мікроканалі, який моделює просвіт кишки. Інший мікроканал моделює кровоносні судини з ендотеліальним шаром. Значення досліджуваних параметрів, таких як коротколанцюгові жирні кислоти, пули цитокінів, концентрація вільного кисню, визначають адресними біологічними сенсорами або на підставі аналізу відповідного матеріалу, забір якого здійснюють власноруч [24]. Прикладом створення моделі 33К є культивування в експериментальній системі кишки на чіпі епітеліальних кишкових клітин, мононуклеарних клітин периферичного кров'яного русла, патогенних і непатогенних штамів кишкової палички [22]. Подібні моделі використовуються для вивчення запального процесу кишечника при 33К, впливу променевої терапії на проникність кишкового бар'єра та кишкові епітеліальні клітини. Експериментальні системи кишки на чіпі можуть бути аеробними чи анаеробними для дослідження відповідних штамів мікроорганізмів. На цей час створені моделі тонкої кишки на чіпі, товстої кишки на чіпі, порожньої кишки на чіпі і дванадцятипалої кишки на чіпі. Зазначені моделі містять органодів відповідних відділів кишки [19,46].

## Reviews

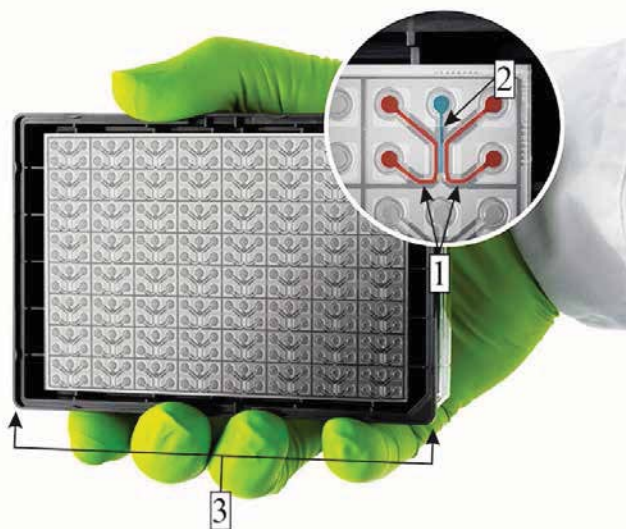


**Рис. 8.** Загальний вигляд і будова мікрофлюїдної платформи OrganoPlate: 1 – мікроканали із кишковими органідами, 2 – мікроканал з екстрацелюлярним матриксом, 3 – 64-секційна платформа (фотографія з сайту <https://www.fishersci.co.uk>)

Моделі кишки на чіпі використовують для вивчення взаємодії «хазяїн-мікроорганізм», бар'єрної функції кишкового епітелію, процесів руху та метаболізму перетравлених харчових інгредієнтів, адресних питань харчової алергії, мікробіому, патофізіології кишечника при ЗЗК, дуоденіту, онкологічних захворювань товстої кишки, ефективності і прогнозування терапевтичного ефекту медичних препаратів. Використання в цій експериментальній системі органодів із донорських клітин кишечника пацієнта, імунних клітин і певних представників мікробіоти надає можливість адресного діагностування і визначення індивідуального лікування для конкретного пацієнта. Складні моделі цього типу дають змогу досягнути стабільності аеробних та анаеробних культур мікробіому, отриманих із людських калових мас, і спільно культивувати їх із людськими кишковими епітеліальними клітинами в умовах фізіологічної гіпоксії, яка є природною для кишкового просвіту. Це максимально наближає дослідження до умов *in vivo*. Недоліками вважають ще існуючу неповну структурно-функціональну відповідність із людським кишечником, складність у роботі, низьку відтворюваність і статичність в умовах різних лабораторій, високі якісні вимоги до матеріалів для виробництва самої системи [27,30].

Також існують безмембранні моделі кишки на чіпі, прикладом яких є платформа OrganoPlate. Це тривимірний мікрофлюїдний диск для біологічних тканин із можливістю одночасного дослідження 96 зразків. Кількість мікроканалів сягає 64, завдяки

чому забезпечується безперервна циркуляція середовища з імітацією природного кровотоку і фізіологічних метаболічних процесів (рис. 8).

Платформу використовують для імітації процесів запалення кишечника, зокрема, при ХК та інших ЗЗК, оцінювання транспортування кишкових медичних препаратів, проникності кишкового епітеліального бар'єра, гетерогенного впливу ентеротоксинів патогенних штамів мікробіому, зокрема, *Clostridium difficile* [29].

Недоліками систем кишки на чіпі є проблема відтворення двошарового слизового шару та індукції його фізіологічних і патофізіологічних змін [30].

Платформу OrganoPlate використано як базовий майданчик для експериментального дослідження ХК та інших ЗЗК. На її основі розроблено автоматизовану модульну систему кишки на чіпі з принципом роботи «підключи і працюй». 40 кишкових епітеліальних трубчастих 3D-структур із поляризацією і перфузією вирощено з іморталізованих клітинних ліній Caco-2 (ентероцити) та HT29-MTX-E12 (келіхоподібні клітини). Представники клітинних ліній THP-1 і MUTZ-3 використано в експериментальній системі для визначення вивільнення цитокінів. Індукцію моделі певного типу ЗЗК досягнуто за допомогою введення в систему екзогенних інтерлейкіну (IL)-1 $\beta$  і фактора некрозу пухлини- $\alpha$  (TNF $\alpha$ ). Для визначення запального процесу використано показники трансепітеліального опору та кількісні показники секреції прозапальних цитокінів. Втрату змодельованим кишковим епітелієм бар'єрних функцій і продукція цитокінів є маркерами відтвореного запального процесу. Автори констатують патофізіологічну відповідність зазначеної моделі захворювання до відповідного ЗЗК [13].

Недоліками системи є її багатокомпонентність, дороговартісність, складність відтворення контрольних методів дослідження, таких як імуногістохімія, визначення трансепітеліального опору, аналіз експресії генів та ін.

Мікрофлюїдні системи органа на чіпі продуктивно поєднують із робототехнікою. Прикладом такої комбінованої платформи є система *Interrogator* («дослідник» – пер. з англ.), що має мобільний мікроскоп, адресний пакет програмного забезпечення, перистальтичний насос, рідинний маніпулятор, лунковий планшет та інкубатор біологічних тканин у вигляді чіпів (рис. 9).

Платформа забезпечує мультивекторне керування параметрами експерименту, автоматизації культивування клітин, здійснення одночасної мікроскопії

до 10 задіяних в інкубації тканин чіпів. Періодичне автоматизоване з'єднання і взаємодія штучних ендотеліальних судинних каналів, резервуарів із середовищем, використання середовища як альтернативи крові дають змогу здійснювати експеримент тривалістю до 3 тижнів із використанням до 8 двоканальних чіпів із культивованими в них тканинами – гематоенцефалічний бар'єр, легенева, мозкова, ниркова, кишкова, печінкова, серцева, шкірний покрив. Отже, дослідники створили мультиорганну флюїдну мережу моделі людського тіла на чіпі. Прорахована на підставі експериментальних даних і математичних обчислень зменшена мультикамерна модель цієї експериментальної системи дає змогу обчислювати й прогнозувати зміни її параметрів під час експерименту. Роботизована платформа забезпечує проведення неінвазивної мікроскопії клітин у мікрофлюїдних чіпах та взяття клітинного матеріалу на дослідження безпосередньо під час експерименту без порушення цілісності системи [31].

Недоліками системи є її мультимодульність і складність. «Дослідник» потребує потужної матеріально-технічної бази, команди висококваліфікованих фахівців та адресної допоміжної апаратури.

Для наближення системи органа на чіпі до будови та функціональності органів і тканин людського організму синтезовано гідрогелі. Мета полягає в заміні жорсткої або напівжорсткої напівпроникної мембрани на біологічний, комбінований або штучний гідрогель. Це надає можливість імітації природного середовища клітин, кращої їхньої проліферації та диференціації, 3D-архітектури біологічних тканин із бар'єрною функцією в динамічних умовах, можливість інтеграції в систему органа на чіпі електродів для реєстрації трансепітеліального електричного опору. Прикладом біологічних гідрогелів є Matrigel, отриманий шляхом екстракції із саркоми миші типу Енгельбрета–Хольма–Сварма, яка використовується як джерело компонентів базальної мембрани для експериментальних досліджень. Matrigel є складною мультикомпонентною системою, яка містить ламінін, колаген IV типу, глікопротеїн ентактин як фактор контакту та сполучення між собою біологічних клітин, фактори росту клітин і протеоглікани. Недоліками гідрогелів є багатокомпонентний мінливий склад, параметри якого дослідник не може визначати та змінювати; відсутність контролю та впливу на ремоделювання власними клітинами, погані механічні властивості, ризик вірусної контамінації, необхідність в обладнанні для зберігання в певних температурних умовах, проведення досліджень із гелями в низькотемпературних умовах [44].

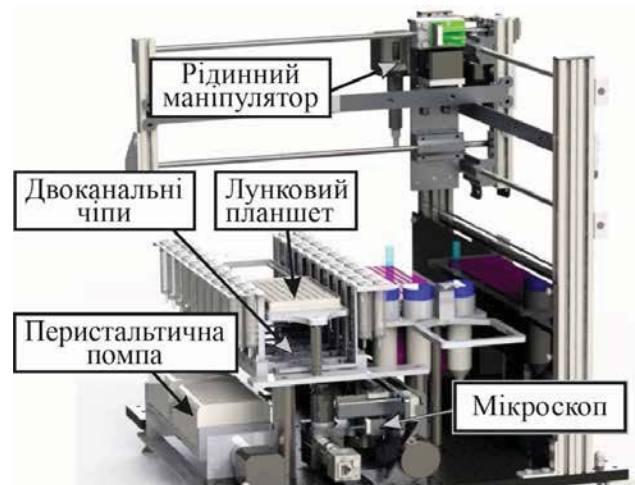


Рис. 9. Роботизована мультиорганна флюїдна мережа моделі людського тіла на чіпі (фотографія з джерела doi: 10.1038/s41551-019-0497-x)

Описані моделі *ex vivo* та *in vitro* дають змогу відтворити патофізіологічні аспекти ХК та інших ЗЗК [22]. За їхньою допомогою доведена безпосередня роль мікробіоти кишечника в фізіологічних захисних реакціях організму як відповіді на ЗЗК, інфекційні, імунологічні та аутоімунні захворювання [7]. Моделі *in vitro* стратегічно важливі в дослідженнях можливих наслідків змін на рівні популяції клітин у відповідь на вплив певних патогенів, зміни оточуючого середовища та умов їхньої життєдіяльності. Використання моделей *in vitro* також допомагає дослідити трансепітеліальне транспортування поживних речовин, біологічно-активних і хімічних сполук у фізіологічному стані та в умовах патофізіологічних змін. Це визначає їхній вагомий внесок у з'ясування ролі сапрофітної, патогенної, пробіотичної кишкової мікрофлори для фізіології людського організму і патологічних процесів, у фармакологічні дослідження і наближення предметних медичних галузей до розроблення таргетного індивідуального лікування ЗЗК та інших неспецифічних запальних захворювань.

Викладене доводить необхідність і перспективність застосування експериментальних досліджень *ex vivo* та *in vitro* в поєднанні з мікрофлюїдними технологіями і приладами. Це стосується як досліджень ЗЗК, так і іншої патології. Актуальність такого виду досліджень підтверджує прогресивна динаміка світового ринку мікрофлюїдики. За 2018–2024 рр. він збільшився, за незалежними оцінками, більш ніж у 10 разів – з 3,6 млрд до 37,49 млрд дол. США. За прогнозами, у 2030 р. його капіталізація сягне 73,85 млрд дол. США, демонструючи середньорічне зростання в 11,99%. Це обумовлене

## Reviews

передусім потребою використання мікрофлюїдних систем в експериментальних доклінічних дослідженнях і виробництві діагностичних приладів. Такі системи використовуються в інноваційних рішеннях у біотехнологіях, моніторингу навколишнього середовища та різних галузях системи охорони здоров'я [14].

Стратегічним питанням подальших результативних доклінічних досліджень є отримання та культивування стандартизованих органоїдів шляхом створення мережі взаємодіючих біобанків [4].

Слід зазначити, що термінологія *ex vivo* та *in vitro* в ТІ та регенеративній медицині потребує чіткого визначення, критеріїв і розмежування. Це обумовлено ігноруванням історичного визначення зазначених і введенням нових термінів певними дослідниками без належного наукового обґрунтування [23].

Експериментальні системи *in vivo*, *ex vivo* та *in vitro* мають різні індивідуальні цілі, переваги, недоліки й обмеження. Але є взаємодоповнювальними, невід'ємною обов'язковою експериментальною складовою в медицині, яка передувє клінічним випробуванням. Їх комплексне використання дає змогу вирішувати складні наукові завдання, досягати створення нових раціональних ефективних рішень у медицині, ТІ, біології та інших галузях людської діяльності.

## Висновки

### **Технологічна ефективність і специфічність.**

Використання моделей *in vitro* та *ex vivo* дає змогу досліджувати фізіологічні, патологічні процеси на органо-клітинному і тканинному рівнях із високим рівнем специфічності (специфічність експериментальної методики – здатність виявляти відсутність ефекту в випадках, коли експериментальний вплив не здійснювався). Завдяки цьому є можливість відтворювати й досліджувати кишковий епітеліальний бар'єр, механізми іонного транспортування і транспортування лікувальних препаратів, що є вкрай важливим у дослідженнях ХК та інших ЗЗК.

**Етико-деонтологічна відповідність.** Використання технологій ТІ та мікрофлюїдики допомагає кількісно зменшити використання піддослідних тварин, що відповідає етичній концепції 3R (*Replacement, Reduction, Refinement* – *Заміна, Зменшення, Удосконалення*). Використання людських біологічних зразків потребує суворого дотримання етико-деонтологічних та юридично-правових норм.

**Практичне значення і результативність.** Впровадження мікрофлюїдних пристроїв і роботизова-

них платформ дає змогу створювати адресні біологічні 3D-моделі для експериментальних досліджень значної тривалості. Це забезпечує високу результативність у розробленні методів таргетної терапії, визначенні й прогнозуванні лікувального ефекту медичних препаратів на моделях, подібних до органів і систем людського організму, дослідженні фізіологічних і патологічних процесів при ХК та інших ЗЗК.

**Перспективність розвитку.** Інтеграція мікрофлюїдних систем зі штучним інтелектом і роботизованими платформами, використання біологічних гідрогелів і технології 3D-біодруку сприятимуть створенню мультиорганичних мереж для відносно тривалих експериментальних досліджень без порушення цілісності експериментальної системи. Це обумовлює наукову перспективність зазначених технологій. Прогнозована капіталізація світового ринку мікрофлюїдики підтверджує економічну доцільність застосування описаних технологій, а створення мережі біобанків стандартизованих органоїдів і стала генерація стандартизованих імуорталізованих клітинних популяцій – ефективність і перспективність їхнього використання в експериментальних дослідженнях на доклінічному етапі.

*Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.*

## References/Література

1. Afshar L, Aghayan HR, Sadighi J, Arjmand B, Hashemi SM, Basiri M et al. (2020). Ethics of research on stem cells and regenerative medicine: ethical guidelines in the Islamic Republic of Iran. *Stem Cell Res Ther.* 11(1): 396. <https://doi.org/10.1186/s13287-020-01916-z>.
2. Alvites RD, Branquinho MV, Sousa AC, Lopes B, Sousa P, Mendonça C et al. (2021). Small Ruminants and Its Use in Regenerative Medicine: Recent Works and Future Perspectives. *Biology (Basel)*. 10(3): 249. <https://doi.org/10.3390/biology10030249>.
3. Baptiste DL, Caviness-Ashe N, Josiah N, Commodore-Mensah Y, Arscott J et al. (2022). Henrietta Lacks and America's dark history of research involving African Americans. *Nurs Open*. 9(5): 2236-2238. <https://doi.org/10.1002/nop2.1257>.
4. Botti G, Di Bonito M, Cantile M. (2021). Organoid biobanks as a new tool for pre-clinical validation of candidate drug efficacy and safety. *Int J Physiol Pathophysiol Pharmacol*. 13(1): 17-21. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33815668/>.
5. Clua-Ferré L, Suau R, Vañó-Segarra I, Ginés I, Serena C, Manyé J. (2024). Therapeutic potential of mesenchymal stem cell-derived extracellular vesicles: A focus on inflammatory bowel disease. *Clin Transl Med*. 14(11): e70075. <https://doi.org/10.1002/ctm2.70075>.
6. Cruz Rivera S, Aiyegbusi OL, Ives J, Draper H, Mercieca-Berber R, Ellis C et al. (2022). Ethical Considerations for the Inclusion of Patient-Reported Outcomes in Clinical Research: The PRO Ethics Guidelines. *Jama*. 327(19): 1910-1919. <https://doi.org/10.1001/jama.2022.6421>.
7. De Gregorio V, Sgambato C, Urciuolo F, Vecchione R, Netti PA, Imparato G. (2022). Immunoresponsive microbiota-gut-on-chip reproduces barrier dysfunction, stromal reshaping and probiotics translocation under inflammation. *Biomaterials*. 286: 121573. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2022.121573>.

8. De Kanter AJ, Jongsma KR, Verhaar MC, Bredenoord AL. (2023). The Ethical Implications of Tissue Engineering for Regenerative Purposes: A Systematic Review. *Tissue Eng Part B Rev*. 29(2): 167-187. <https://doi.org/10.1089/ten.TEB.2022.0033>.
9. Dubinina VO, Ksonz IV, Bilash SM, Abyzova LV, Bilanov OS, Ksonz VI. (2023). Axiological dimensions of medical deontology in pediatric surgery. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 4(81): 108-113; doi: 10.15574/PS.2023.81.108.
10. Eder MM. (2023). Aligning clinical research ethics with community-engaged and participatory research in the United States. *Front Public Health*. 11: 1122479. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1122479>.
11. Garreta E, Kamm RD, Chuva de Sousa Lopes SM, Lancaster MA, Weiss R, Treppe X et al. (2021). Rethinking organoid technology through bioengineering. *Nat Mater*. 20(2): 145-155. <https://doi.org/10.1038/s41563-020-00804-4>.
12. Gazzaniga FS, Camacho DM, Wu M, Silva Palazzo MF, Dinis ALM, Grafton FN et al. (2021). Harnessing Colon Chip Technology to Identify Commensal Bacteria That Promote Host Tolerance to Infection. *Front Cell Infect Microbiol*. 11: 638014. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.638014>.
13. Gijzen L, Marescotti D, Raineri E, Nicolas A, Lanz HL, Guerra D et al. (2020). An Intestine-on-a-Chip Model of Plug-and-Play Modularity to Study Inflammatory Processes. *SLAS Technol*. 25(6): 585-597. <https://doi.org/10.1177/2472630320924999>.
14. Grand View Research. (2025). Microfluidics Market Size, Share & Trends Analysis Report By Technology, By Product (Microfluidic-based Devices, Microfluidic Components), By Material (Silicon, Glass), By Application (Medical, Non-Medical), By Region, And Segment Forecasts, 2025-2030. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/microfluidics-market> 119.
15. Grupp TM, Rusch S, Massin P, Blom A, Garcia-Rey E, Cristofolini L et al. (2023). 1st EFORT European Consensus «Medical & Scientific Research Requirements for the Clinical Introduction of Artificial Joint Arthroplasty Devices»: Background, Delphi Methodology & Consensus process. *EFORT Open Rev*. 8(7): 499-508. <https://doi.org/10.1530/eor-23-0054>.
16. Guo Y, Chen X, Gong P, Li G, Yao W, Yang W. (2023). The Gut Organ-Axis Concept: Advances the Application of Gut-on-Chip Technology. *Int J Mol Sci*. 24(4): 4089. <https://doi.org/10.3390/ijms24044089>.
17. Jacques E, Suuronen EJ. (2020). The Progression of Regenerative Medicine and its Impact on Therapy Translation. *Clin Transl Sci*. 13(3): 440-450. <https://doi.org/10.1111/cts.12736>.
18. Jongsma KR, Bredenoord AL. (2020). Ethics parallel research: an approach for (early) ethical guidance of biomedical innovation. *BMC Med Ethics*. 21(1): 81. <https://doi.org/10.1186/s12910-020-00524-z>.
19. Joshi A, Soni A, Acharya S. (2022). *In vitro* models and *ex vivo* systems used in inflammatory bowel disease. *In vitro Model*. 1(3): 213-227. <https://doi.org/10.1007/s44164-022-00017-w>.
20. Justus CR, Marie MA, Sanderlin EJ, Yang LV. (2023). Transwell *In vitro* Cell Migration and Invasion Assays. *Methods Mol Biol*. 2644: 349-359. [https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3052-5\\_22](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3052-5_22).
21. Kenney RM, Loeser A, Whitman NA, Lockett MR. (2018). Paper-based Transwell assays: an inexpensive alternative to study cellular invasion. *Analyst*. 144(1): 206-211. <https://doi.org/10.1039/c8an01157e>.
22. Kim HJ, Lee J, Choi JH, Bahinski A, Ingber DE. (2016). Co-culture of Living Microbiome with Microengineered Human Intestinal Villi in a Gut-on-a-Chip Microfluidic Device. *J Vis Exp*. (114): 54344. <https://doi.org/10.3791/54344>.
23. Klein L, Huttmacher DW. (2024). Straddling the Line Between *In vitro* and *Ex vivo* Investigations. *Tissue Eng Part C Methods*. 30(10): 443-451. <https://doi.org/10.1089/ten.tec.2024.0246>.
24. Kriaa A, Mariaule V, De Rudder C, Jablaoui A, Sokol H, Wilmes P et al. (2024). From animal models to gut-on-chip: the challenging journey to capture inter-individual variability in chronic digestive disorders. *Gut Microbes*. 16(1): 2333434. <https://doi.org/10.1080/19490976.2024.2333434>.
25. Li XG, Chen MX, Zhao SQ, Wang XQ. (2022). Intestinal Models for Personalized Medicine: from Conventional Models to Microfluidic Primary Intestine-on-a-chip. *Stem Cell Rev Rep*. 18(6): 2137-2151. <https://doi.org/10.1007/s12015-021-10205-y>.
26. Macedo MH, Dias Neto M, Pastrana L, Gonçalves C, Xavier M. (2023). Recent Advances in Cell-Based *In vitro* Models to Recreate Human Intestinal Inflammation. *Adv Sci (Weinh)*. 10(31): e2301391. <https://doi.org/10.1002/advs.202301391>.
27. Malaguarnera G, Graute M, Homs Corbera A. (2021). The translational roadmap of the gut models, focusing on gut-on-chip. *Open Res Eur*. 1: 62. <https://doi.org/10.12688/openreseurope.13709.2>.
28. Mangione F, Salmon B, EzEldeen M, Jacobs R, Chaussain C, Vital S. (2022). Characteristics of Large Animal Models for Current Cell-Based Oral Tissue Regeneration. *Tissue Eng Part B Rev*. 28(3): 489-505. <https://doi.org/10.1089/ten.TEB.2020.0384>.
29. Morelli M, Cabezuolo Rodríguez M, Queiroz K. (2024). A high-throughput gut-on-chip platform to study the epithelial responses to enterotoxins. *Sci Rep*. 14(1): 5797. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56520-5>.
30. Morelli M, Kurek D, Ng CP, Queiroz K. (2023). Gut-on-a-Chip Models: Current and Future Perspectives for Host-Microbial Interactions Research. *Biomedicines*. 11(2): 619. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11020619>.
31. Novak R, Ingram M, Marquez S, Das D, Delahanty A, Herland A et al. (2020). Robotic fluidic coupling and interrogation of multiple vascularized organ chips. *Nat Biomed Eng*. 4(4): 407-420. <https://doi.org/10.1038/s41551-019-0497-x>.
32. Oerlemans AJ, van Hoek ME, van Leeuwen E, Dekkers WJ. (2014). Hype and expectations in tissue engineering. *Regen Med*. 9(1): 113-122. <https://doi.org/10.2217/rme.13.89>.
33. Rahman S, Ghiboub M, Donkers JM, van de Steeg E, van Tol EAF et al. (2021). The Progress of Intestinal Epithelial Models from Cell Lines to Gut-On-Chip. *Int J Mol Sci*. 22(24): 13472. <https://doi.org/10.3390/ijms222413472>.
34. Schenke-Layland K, Nerem RM. (2011). *In vitro* human tissue models—moving towards personalized regenerative medicine. *Adv Drug Deliv Rev*. 63(4-5): 195-196. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2011.05.001>.
35. Shevchenko YeV, Hladkykh FV, Matvieienko MS. (2024) Cryomedical biotechnologies as a key to effective decellularization in the creation of scaffolds for vascular transplantation. *The Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Medicine*. 32; 3(50): 366-386. <https://doi.org/10.26565/2313-6693-2024-50-08>.
36. Shevchenko YV, Liadova TI, Hladkykh FV, Matvieienko MS, Chyzh MO, Komorovsky RR. (2024). Decellularized Matrix Scaffolds for Vascular Transplantation: Addressing Immunogenicity, Sterilization, and Current Strategies for Long-Term Storage. *Ukrainian Journal of Cardiovascular Surgery*. 32(4): 78-90. [https://doi.org/10.30702/ujcv/24.32\(04\)/ShL061-7890](https://doi.org/10.30702/ujcv/24.32(04)/ShL061-7890).
37. Shi Q, Carrillo JC, Penman MG, Manton J, Fioravanzo E, Powrie RH et al. (2022). Assessment of the Intestinal Absorption of Higher Olefins by the Everted Gut Sac Model in Combination with *In Silico* New Approach Methodologies. *Chem Res Toxicol*. 35(8): 1383-1392. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.2c00089>.
38. Shin YC, Shin W, Koh D, Wu A, Ambrosini YM, Min S et al. (2020). Three-Dimensional Regeneration of Patient-Derived Intestinal Organoid Epithelium in a Physiodynamic Mucosal Interface-on-a-Chip. *Micromachines (Basel)*. 11(7): 663. <https://doi.org/10.3390/mi11070663>.
39. Soleiko DS, Prytula VP. (2025). *In vivo* experimental models in scientific research on current issues of Crohn's disease and other

## Reviews

- inflammatory bowel diseases. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 3(88): 135-148. [Солейко ДС, Притула ВП. (2025). Експериментальні моделі *in vivo* в наукових дослідженнях актуальних питань хвороби Крона та інших запальних захворювань кишечника. *Хірургія дитячого віку (Україна)*. 3(88): 135-148]. doi: 10.15574/PS.2025.3(88).135148.
40. Stoyeva TV, Dzhahashvili OV, Melnychenko MH, Hudz VA. (2019). Using mathematical modeling in the differential diagnosis of acute abdominal syndrome in children. *Paediatric surgery. Ukraine*. 1(62): 47-52. <https://doi.org/10.15574/PS.2019.62.47>.
  41. Taylor WJ, Willink R, O'Connor DA, Patel V, Bourne A, Harris IA et al. (2023). Which clinical research questions are the most important? Development and preliminary validation of the Australia & New Zealand Musculoskeletal (ANZMUSC) Clinical Trials Network Research Question Importance Tool (ANZMUSC-RQIT). *PLoS One*. 18(3): e0281308. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281308>.
  42. Thomas DP, Zhang J, Nguyen NT, Ta HT. (2023). Microfluidic Gut-on-a-Chip: Fundamentals and Challenges. *Biosensors (Basel)*. 13(1): 136. <https://doi.org/10.3390/bios13010136>.
  43. Ungaro F, Garlatti V, Massimino L, Spinelli A, Carvello M, Sacchi M et al. (2019). mTOR-Dependent Stimulation of IL20RA Orchestrates Immune Cell Trafficking through Lymphatic Endothelium in Patients with Crohn's Disease. *Cells*. 8(8): 924. <https://doi.org/10.3390/cells8080924>.
  44. Vera D, García-Díaz M, Torras N, Castillo Ó, Illa X, Villa R et al. (2024). A 3D bioprinted hydrogel gut-on-chip with integrated electrodes for transepithelial electrical resistance (TEER) measurements. *Biofabrication*. 16(3). <https://doi.org/10.1088/1758-5090/ad3aa4>.
  45. World Health Organization (WHO). (2020). Global health estimates 2019: estimated deaths by age, sex, and cause. Geneva, Switzerland.
  46. Xiang Y, Wen H, Yu Y, Li M, Fu X, Huang S. (2020). Gut-on-chip: Recreating human intestine *in vitro*. *J Tissue Eng*. 11: 2041731420965318. <https://doi.org/10.1177/2041731420965318>.

### Відомості про автора:

**Солейко Дмитро Сергійович** – к.мед.н., доц. каф. дитячої хірургії ВНМУ ім. М.І. Пирогова. Адреса: м. Вінниця, вул. Пирогова, 56. <https://orcid.org/0000-0002-8663-990X>.

Стаття надійшла до редакції 05.09.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.

УДК 616-008.9-06:616.697

С.О. Нестерук

# Морфофункціональні зміни яєчка під впливом екзогенних чинників: патогенетичні механізми і клінічне значення

*Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського, Україна*

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 123-129. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).123129

**For citation:** Nesteruk SO. (2025). Morphofunctional changes of the testis under the influence of exogenous factors: pathogenetic mechanisms and clinical significance. Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 123-129. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).123129.

Репродуктивне здоров'я чоловіків формується ще в дитячому і підлітковому віці та є надзвичайно чутливим до впливу екзогенних чинників. До таких чинників належать хімічні агенти (важкі метали, пестициди), фізичні фактори (гіпертермія, іонізуюче випромінювання, електромагнітні поля), психоактивні речовини та алкоголь. Вони викликають розвиток оксидативного стресу, апоптозу, порушення мікроциркуляції, деструкцію клітин Сертолі й Лейдіга, що призводить до зниження сперматогенної активності й формування гіпогонадізму.

**Мета** – узагальнити сучасні експериментальні й клінічні дані щодо морфологічних і функціональних змін яєчка під впливом екзогенних чинників з урахуванням вікових особливостей.

Проведено систематичний аналіз сучасних наукових публікацій, індексованих у базах «PubMed», «Scopus», «Web of Science» і «Google Scholar». Встановлено, що дія кадмію, свинцю, органофосфатів, хронічного алкоголізму, опіоїдів і гіпертермії супроводжується типовими структурними змінами – вакуолізацією цитоплазми клітин Сертолі, набряком інтерстицію, атрофією звивистих каналців і редукцією клітин Лейдіга. Порушення терморегуляції, іонізуюча радіація та механічні травми додатково спричиняють руйнування гемато-тестикулярного бар'єра й активації імунного ушкодження гермінативного епітелію.

**Висновки.** Екзогенні чинники чинять універсальний негативний вплив на морфофункціональний стан яєчка, реалізуючись через оксидативний стрес, апоптоз і порушення ендокринної регуляції. Ці процеси набувають особливого клінічного значення в період росту й статевого дозрівання, що потребує підвищеної уваги до профілактики, ранньої діагностики та корекції уражень репродуктивної системи в дітей і підлітків. Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** яєчко, екзогенні чинники, морфологічні зміни, оксидативний стрес, сперматогенез, дитячий вік.

## Morphofunctional changes of the testis under the influence of exogenous factors: pathogenetic mechanisms and clinical significance

**S.O. Nesteruk***I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ukraine*

Male reproductive health is formed during childhood and adolescence and is extremely sensitive to the effects of exogenous factors. These include chemical agents (heavy metals, pesticides), physical factors (hyperthermia, ionizing radiation, electromagnetic fields), psychoactive substances, and alcohol. They induce oxidative stress, apoptosis, microcirculatory disorders, and destruction of Sertoli and Leydig cells, leading to decreased spermatogenic activity and the development of hypogonadism.

**Aim** – to summarize current experimental and clinical data on morphological and functional changes in the testis under the influence of exogenous factors, taking into account age-related features.

A systematic analysis of recent scientific publications indexed in PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar databases was conducted. It was established that exposure to cadmium, lead, organophosphates, chronic alcoholism, opioids, and hyperthermia is accompanied by typical structural alterations, including cytoplasmic vacuolization of Sertoli cells, interstitial edema, atrophy of seminiferous tubules, and

## Reviews

reduction of Leydig cells. Disturbances of thermoregulation, ionizing radiation, and mechanical injuries further contribute to the disruption of the blood-testis barrier and activation of immune-mediated damage to the germinal epithelium.

**Conclusions.** Exogenous factors exert a universal adverse effect on the morphofunctional state of the testis, manifested through oxidative stress, apoptosis, and endocrine dysregulation. These processes acquire particular clinical significance during growth and puberty, emphasizing the importance of prevention, early diagnosis, and correction of reproductive system disorders in children and adolescents.

The author declares no conflict of interest.

**Keywords:** testis; exogenous factors; morphological changes; oxidative stress; spermatogenesis; childhood.

## Вступ

Репродуктивне здоров'я чоловіків значною мірою формується ще в дитячому і підлітковому віці, коли відбувається активне становлення морфологічної структури й функціональної зрілості статевих залоз [14,20,56]. У цей період яєчка є особливо чутливими до впливу зовнішніх (екзогенних) чинників, що можуть зумовити порушення процесів диференціації, кровопостачання і функціонування сперматогенного апарату [23,58].

Сучасні епідеміологічні дані свідчать про поступове зростання частоти патології яєчок у дітей і підлітків – крипторхізму, водянки оболонки, варикоцеле, посттравматичних і токсичних уражень [2,23,58,61]. Ці стани часто супроводжуються морфофункціональними порушеннями, які в подальшому можуть проявлятися безпліддям або гормональною недостатністю в дорослому віці [1,42].

Серед найважливіших екзогенних чинників, що негативно впливають на структуру і функцію яєчка, слід виділити токсичні хімічні речовини (солі важких металів, пестициди) [16,26,40,45], фізичні агенти (гіпертермію, іонізуюче випромінювання, електромагнітні поля, механічні травми) [22,32,53,59,60], а також фармакологічні й психоактивні сполуки, зокрема алкоголь [17,19,29,43,44]. Їхня дія спричиняє каскад ушкоджень: оксидативний стрес, апоптоз клітин Сертолі й Лейдіга, порушення мікроциркуляції, деградацію гермінативного епітелію та структурну перебудову інтерстицію [11,33,35,47].

Для дитячої хірургії особливе значення має вивчення ранніх морфологічних змін у яєчках під впливом екзогенних агентів, оскільки ці зміни можуть бути морфологічною основою майбутніх функціональних розладів і впливати на вибір лікувальної тактики для корегування вроджених і набутих патологій (варикоцеле, крипторхізм, наслідки травм мошонки тощо).

Актуальність дослідження полягає в необхідності систематизації сучасних уявлень про механізми дії екзогенних чинників на яєчка в період активного росту та статевого дозрівання. Узагальнення цих даних має важливе значення для дитячих хірургів-урологів, андрологів і морфологів у контексті про-

філактики вторинних змін й оптимізації відновного лікування патології чоловічої статеві системи.

**Мета** дослідження – узагальнити сучасні експериментальні й клінічні дані щодо морфологічних і функціональних змін яєчка під впливом хімічних, фізичних, фармакологічних і поведінкових екзогенних чинників з урахуванням особливостей періоду росту та статевого дозрівання, що має значення для профілактики і лікування патології чоловічої статеві системи в дітей і підлітків.

Огляд побудовано на узагальненні результатів сучасних вітчизняних і зарубіжних наукових досліджень, присвячених вивченню впливу екзогенних чинників на морфофункціональний стан яєчка в дітей, підлітків і дорослих. Джерельну базу становили публікації, опубліковані у провідних фахових виданнях, що індексуються в наукометричних базах «PubMed», «Scopus», «Web of Science», «Medline» і «Google Scholar», а також у вітчизняних журналах, рекомендованих Міністерством освіти і науки України.

До аналізу залучено експериментальні та клінічні праці, що висвітлюють морфологічні, біохімічні, гормональні і функціональні аспекти ураження тестікул під впливом хімічних, фізичних, фармакологічних і поведінкових екзогенних чинників. Особливу увагу приділено роботам, у яких розкрито механізми порушення сперматогенезу, структурні зміни клітин Сертолі й Лейдіга, стан мікроциркуляторного русла та ендокринну регуляцію гонад у період росту і статевого дозрівання.

Чоловіча репродуктивна система є надзвичайно чутливою до дії екзогенних чинників. Яєчка як органи, що забезпечують сперматогенез і синтез андрогенів, швидко реагують морфологічними і функціональними змінами на вплив шкідливих хімічних, фізичних, фармакологічних, поведінкових і біологічних агентів [14,20,56]. Особливо вразливим є період статевого дозрівання, коли відбувається активна проліферація клітин гермінативного епітелію та становлення гіпоталамо-гіпофізарно-гонадної регуляції [58]. Порушення в цей час можуть мати віддалені наслідки – від тимчасової олігоспермії до незворотних змін фертильності у дорослому віці [23,61].

За даними останніх наукових досліджень, серед хімічних агентів найбільш виражений токсичний вплив на тканини яєчка мають солі важких металів, зокрема кадмій. Встановлено, що кадмій спричиняє розвиток оксидативного стресу, апоптоз сперматогенних клітин, зниження продукції андрогенів і погіршення функцій сперматозоїдів [1,2,16,42]. Цей метал порушує антиоксидантну рівновагу, знижуючи активність глутатіонпероксидази, супероксиддисмутази та каталази, що призводить до накопичення активних форм кисню й ушкодження клітинних мембран [26]. Морфологічно такі зміни проявляються вакуолізацією цитоплазми клітин Сертолі, злуценням сперматогенного епітелію, розширенням просвіту звивистих сім'яних каналців і набряком інтерстицію [40,45]. У період росту і статевого дозрівання навіть короточасна дія кадмію може викликати затримку розвитку статевих залоз, а за тривалого впливу – атрофію каналців, втрату сперматид і зменшення кількості клітин Лейдіга, що супроводжується пригніченням стероїдогенезу й зниженням рівня тестостерону [53,60].

Інші дослідники наголошують, що свинець чинить подібний, але більш системний токсичний ефект, поєднуючи цитотоксичну й ендокринну дію. Він ушкоджує сперматогонії, клітини Сертолі й Лейдіга, порушує обмін кальцію й цинку, активує каспазозалежний апоптоз [32]. У морфологічних дослідженнях виявлено потовщення базальної мембрани, дегенерацію гермінативного епітелію, фіброз інтерстицію і судинні порушення. Клінічні спостереження підтверджують, що в підлітків і чоловіків, які протягом тривалого часу контактували зі свинцем, зменшується об'єм еякуляту, концентрація та рухливість сперматозоїдів, збільшується частка морфологічно аномальних форм і розвивається гіпогонадізм [22,59].

Систематичні огляди підтверджують, що вплив органофосфатних пестицидів асоціюється зі зниженням якості сперми, зменшенням рухливості сперматозоїдів і порушенням цілісності їхньої ДНК [5]. Ці ефекти зумовлені антиандрогенною активністю сполук, здатних зв'язуватися з рецепторами до андрогенів і пригнічувати активність ферментів стероїдогенезу [7]. Пестициди, такі як хлорпірифос і діазинон, спричиняють зниження рівнів тестостерону і гонадотропінів, що призводить до дисбалансу гіпоталамо-гіпофізарно-гонадної осі. Морфологічні дослідження яєчок експериментальних тварин свідчать, що хлорпірифос викликає вакуолізацію цитоплазми клітин Сертолі, деструкцію гермінативного епітелію, набряк інтерстицію і зменшення ді-

метра звивистих сім'яних каналців. Ендосульфан чинить подібний токсичний ефект, зумовлюючи атрофію каналців, потовщення базальної мембрани, зниження кількості клітин Лейдіга і посилення апоптозу сперматогенних клітин [54].

За результатами експериментальних досліджень на тваринах, тривалий вплив пестицидів супроводжується зменшенням маси яєчок, пригніченням синтезу тестостерону, порушенням дозрівання сперматозоїдів і зниженням щільності сперматогенного епітелію. Подібні закономірності виявлено і в клінічних спостереженнях серед підлітків, які зазнали тривалого контакту з цими сполуками. Сукупність таких змін свідчить про глибокі структурно-функціональні порушення в статевих залозах і високий ризик розвитку гіпогонадізму в подальшому [13,25].

До фізичних екзогенних чинників, що негативно впливають на чоловічу репродуктивну систему, належать підвищена температура, іонізуюче випромінювання і механічні травми.

Відомо, що яєчка функціонують оптимально за температури, нижчої на 2–4°C від температури тіла, що забезпечується складною системою терморегуляції мошонки. Порушення цього температурного балансу, як зазначають науковці, особливо в дітей і підлітків із тривалим перебуванням у гарячих умовах, при варикоцеле чи носінні тісного одягу, призводить до ушкодження гермінативного епітелію. Підвищення температури супроводжується порушенням мікроциркуляції, розвитком оксидативного стресу, дестабілізацією клітинних мембран і пригніченням сперматогенезу [33,35,47].

Результати морфологічних досліджень свідчать, що тривала гіпертермія спричиняє вакуолізацію цитоплазми клітин Сертолі, деструкцію щільних міжклітинних контактів, зменшення кількості сперматогоній і сперматид, а також дегенеративні зміни клітин Лейдіга. На гістологічному рівні відзначають розширення просвіту звивистих сім'яних каналців, набряк інтерстицію та ділянки коагуляційного некрозу. Доведено, що навіть незначне підвищення температури мошонки (на 1–2°C) під час користування ноутбуком на колінах або тривалого сидіння здатне викликати стійке пригнічення сперматогенезу [11,27,57]. У підлітковому віці такі зміни можуть перешкоджати дозріванню клітин гермінативного епітелію, що зумовлює ризик зниження фертильності в майбутньому [52].

Не менш вагомим ушкоджувальним чинником, як зазначають автори низки досліджень, є іонізуюче випромінювання, що чинить виражену мутагенну

## Reviews

і цитотоксичну дію на клітини гермінативного епітелію. Експериментальні спостереження доводять, що навіть низькі дози радіації призводять до пошкодження ДНК, порушення клітинного циклу, активації каспазозалежного апоптозу та дестабілізації мембран. Уже при дозах 0,1–0,5 Гр спостерігаються набряк інтерстиція, вакуолізація цитоплазми клітин Сертолі, фрагментація ядер сперматоцитів і зменшення кількості сперматид [12,31,39].

На тлі поступового підвищення променевого навантаження, за даними морфометричних досліджень, формується фіброз інтерстиція, склероз судин мікроциркуляторного русла, зниження кількості клітин Лейдіга і пригнічення стероїдогенезу. При дозах понад 2–3 Гр виникає атрофія яєчок і дегенерація звивистих сім'яних каналців, що призводить до незворотного безпліддя. Гістологічно виявляють ділянки коагуляційного некрозу, руйнування гемато-тестикулярного бар'єра та лімфомакрофагальну інфільтрацію. Особливо небезпечним є опромінення в дитячому віці та в період статевого дозрівання, коли проліферативна активність клітин максимально висока, а механізми репарації ДНК недостатньо зрілі [4,6,28].

Ще одним важливим фізичним чинником ушкодження тестикул є механічна травма. За даними клінічних спостережень, травми мошонки та яєчок у дітей і підлітків можуть виникати під час гри, занять спортом або внаслідок побутових ушкоджень. Такі травми призводять до порушення мікроциркуляції, ішемії паренхіми та розвитку асептичного запалення. У результаті спостерігаються крововиливи, набряк інтерстиція, коагуляційний некроз і подальше заміщення пошкодженої тканини фіброзом. Це зменшує еластичність паренхіми, порушує венозний відтік і створює передумови для хронічного ішемічного ураження яєчка [3,10].

Порушення гемато-тестикулярного бар'єра, як вказують автори сучасних морфологічних досліджень, є одним із ключових патогенетичних механізмів травматичного ураження. Після його руйнування сперматогенні клітини потрапляють у системний кровообіг і стають антигенами для імунної системи, що стимулює утворення антиспермальних антитіл. Цей процес ініціює аутоімунне запалення, деструкцію гермінативного епітелію та прогресуюче зниження сперматогенної активності. У тяжких випадках формується склероз судин, атрофія каналців і стійке безпліддя [17,43].

За даними останніх наукових досліджень, окрему групу ризику становить вплив низькочастотного електромагнітного поля (ЕМП), джерелом якого

є мобільні телефони, wi-fi-пристрої, комп'ютери та інші побутові засоби зв'язку. Експериментальні та клінічні спостереження доводять, що тривале опромінення яєчок ЕМП може спричиняти виражені морфофункціональні зміни в статевих клітинах. Дані *in vitro* свідчать про зниження рухливості сперматозоїдів, порушення цілісності їхньої ДНК, конденсацію хроматину, а також про структурні дефекти акросоми й джгутика [19,29,44].

Автори відзначають, що основними механізмами пошкодження є індукція оксидативного стресу внаслідок надмірного утворення активних форм кисню, зменшення активності антиоксидантних ферментів (супероксиддисмутази, каталази, глутатіонпероксидази) і порушення балансу іонів кальцію в цитоплазмі [34,49]. Ці процеси дестабілюють мітохондріальну функцію, знижують утворення аденозинтрифосфату і викликають енергетичний дефіцит у сперматозоїдах. Крім того, ЕМП здатне модифікувати експресію генів, які регулюють апоптоз і клітинну сигналізацію, що додатково поглиблює ушкодження гермінативного епітелію [38]. У підлітковому віці, коли формування статевої системи ще триває, такий вплив може призводити до епігенетичних порушень і підвищувати ризик розвитку оксидативного безпліддя в майбутньому [55].

Не менш значущим етіологічним чинником є вживання психоактивних речовин, серед яких найчастіше досліджуються канабіноїди, опіоїди та амфетаміни. Тетрагідроканабінол, основний психоактивний компонент марихуани, взаємодіє з канабіноїдними рецепторами CB<sub>1</sub> і CB<sub>2</sub>, які експресуються в клітинах Сертолі, Лейдіга та сперматозоїдах. Активація цих рецепторів призводить до зниження секреції гонадотропінів (LH і FSH), пригнічення синтезу тестостерону та порушення клітинного метаболізму. Морфологічно спостерігаються дистрофічні зміни гермінативного епітелію, вакуолізація цитоплазми клітин Сертолі, роз'єднання шарів сперматогенного епітелію та підвищення рівня апоптозу статевих клітин [9,30,50].

Опіоїди (морфін, героїн, метадон), за результатами численних досліджень, пригнічують секрецію гонадотропін-рилізінг-гормону в гіпоталамусі, що зумовлює зниження рівнів LH і FSH у плазмі крові та порушення стероїдогенезу [51]. Це веде до атрофії клітин Лейдіга, редукції сперматогенних клітин і дегенерації звивистих каналців. На гістологічному рівні виявляють набряк інтерстицію, вакуолізацію цитоплазми і фіброз паренхіми. Хронічне вживання опіоїдів у підлітковому віці може мати

незворотні наслідки для формування репродуктивної функції [37].

Амфетаміни, за експериментальними даними, індукують системний оксидативний стрес, який проявляється надмірним утворенням активних форм кисню, пошкодженням мембран сперматозоїдів і фрагментацією їхньої ДНК [43]. У спермі спостерігаються аномалії головки й джгутика, зниження рухливості та життєздатності. На ендокринному рівні амфетаміни зменшують синтез тестостерону та порушують трофічну підтримку гермінативного епітелію [15,18]. Сукупність цих процесів розглядається як одна з провідних причин гіпогонадізму та чоловічого безпліддя [46].

За результатами численних експериментальних і клінічних спостережень, хронічне зловживання алкоголем є одним із найпоширеніших і водночас недооцінених чинників розвитку чоловічого безпліддя [24]. Етанол чинить комплексний токсичний вплив на регуляторну вісь «гіпоталамус–гіпофіз–гонади», що проявляється гіоспермією, еректильною дисфункцією і гіпогонадізмом. У чоловіків і підлітків, які тривало вживають алкоголь, виявляють як ендокринні, так і виражені морфологічні зміни у тканині яєчок [21,36,41].

Морфологічні дослідження свідчать, що алкогольна інтоксикація супроводжується зменшенням об'єму яєчок, атрофією звивистих каналців, фіброзом інтерстиція та дегенерацією гермінативного епітелію. Виявляються деструктивні зміни в клітинах Сертолі й Лейдіга, порушеннях архітекτονіки каналців і редукції сперматогенного шару [8,48].

## Висновки

Аналіз сучасних експериментальних і клінічних даних свідчить, що чоловіча репродуктивна система є надзвичайно чутливою до дії екзогенних чинників різної природи – хімічних, фізичних, фармакологічних і поведінкових. Під їхнім впливом у тканинах яєчка розвивається комплекс типових патологічних процесів, які включають оксидативний стрес, активацію апоптозу, порушення мікроциркуляції, структурну перебудову інтерстиція та дисбаланс статевих гормонів.

Важкі метали, пестициди, радіаційне опромінення, гіпертермія, психоактивні речовини та алкоголь спричиняють глибокі морфофункціональні порушення в клітинах Сертолі, Лейдіга та гермінативному епітелії, що проявляється зниженням сперматогенної активності, порушенням андрогенезу й розвитком безпліддя.

Хронічна етанолова інтоксикація поєднує токсичну, ендокринну і метаболічну дію, що в сукупності

прискорює апоптоз і старіння клітин тестикул, що призводить до стійкого порушення фертильності й незворотних морфологічних змін у статевих залозах.

Екзогенні чинники реалізують універсальний патогенетичний механізм розвитку чоловічого безпліддя. Їхній вплив реалізується через комплекс взаємопов'язаних процесів, які мають спільні морфологічні прояви незалежно від природи ушкоджувального агента.

Усвідомлення цих механізмів і своєчасна ідентифікація токсичних впливів мають ключове значення для розроблення сучасних підходів до профілактики, ранньої діагностики та морфофункціональної корекції порушень чоловічої репродуктивної системи, особливо в дитячому і підлітковому віці.

**Перспективи подальших досліджень.** Перспективними є дослідження, спрямовані на кількісне оцінювання структурних змін у клітинах гермінативного епітелію та судинному руслі яєчка під впливом різних екзогенних чинників у віковому аспекті, а також на пошук морфологічних критеріїв раннього ушкодження, що можуть бути використані для розроблення методів профілактики й морфофункціональної корекції порушень чоловічої фертильності.

*Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.*

## References/Література

1. Ait Benbella J, Housbane S, Kadil Y, Kabbali F, Ghicha I, Bazhar H et al. (2025). Evaluation of the reversibility of cadmium-induced testicular toxicity following recovery alone or with zinc supplementation. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 22(3): 454. doi: 10.3390/ijerph22030454.
2. Ali W, Ma Y, Zhu J, Zou H, Liu Z. (2022). Mechanisms of cadmium-induced testicular injury: a risk to male fertility. *Cells*. 11(22): 3601. doi: 10.3390/cells11223601.
3. Amor H, Alkhaled Y, Bibi R, Hammadeh ME, Jankowski PM. (2023). The impact of heavy smoking on male infertility and its correlation with PTPRN2 and PGAM5 genes. *Genes (Basel)*. 14(8): 1617. doi: 10.3390/genes14081617.
4. Assefa EM, Abdu SM. (2025). Histopathologic effects of mobile phone radiation exposure on the testes and sperm parameters: a systematic review of animal studies. *Front. Reprod. Health*. 6: 1515166. doi: 10.3389/frph.2024.1515166.
5. Da Cunha de Medeiros P, Silva AGGD, Angelo ABS, Moura MJN, Kannan U, Gregory M et al. (2025). Unravelling the potential mechanisms of nano- and microplastic toxicity to the male reproductive system: a systematic review. *Reprod. Toxicol.* 137: 109002. doi: 10.1016/j.reprotox.2025.109002.
6. De Iuliis GN, Newey RJ, King BV, Aitken RJ. (2009). Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro. *PLoS ONE*. 4(7): e6446. doi: 10.1371/journal.pone.0006446.
7. De Toni L, Finocchi F, Jawich K, Ferlin A. (2023). Global warming and testis function: a challenging crosstalk in an equally challenging environmental scenario. *Front. Cell Dev. Biol.* 10: 1104326. doi: 10.3389/fcell.2022.1104326.

## Reviews

8. Fedoniuk LY, Nesteruk SO, Hnatiuk MS, Smachylo II, Tverdochlib VV, Yakymchuk OA. (2023). Quantitative morphological features of the structural rearrangement of the venous blood vessels of the prostate gland in post-resection portal hypertension. *Polski Merkuriusz Lekarski*. 51(6): 608-612. doi: 10.36740/Merkur202306105.
9. Finelli R, Mottola F, Agarwal A. (2021). Impact of alcohol consumption on male fertility potential: a narrative review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 19(1): 328. doi: 10.3390/ijerph19010328.
10. Firouzabadi AM, Henkel R, Tofighi Niaki M, Fesahat F. (2025). Adverse effects of nicotine on human sperm nuclear proteins. *World J. Mens Health*. 43(2): 291-303. doi: 10.5534/wjmh.240072.
11. Fukunaga H, Yokoya A, Prise KM. (2022). A brief overview of radiation-induced effects on spermatogenesis and oncofertility. *Cancers (Basel)*. 14(3): 805. doi: 10.3390/cancers14030805.
12. Gandhi J, Dagur G, Sheynkin YR, Smith NL, Khan SA. (2016). Testicular compartment syndrome: an overview of pathophysiology, etiology, evaluation, and management. *Transl. Androl. Urol*. 5(6): 927-934. doi: 10.21037/tau.2016.11.05.
13. Gao Y, Wang C, Wang K, He C, Hu K, Liang M. (2022). The effects and molecular mechanism of heat stress on spermatogenesis and the mitigation measures. *Syst. Biol. Reprod. Med*. 68(5-6): 331-347. doi: 10.1080/19396368.2022.2074325.
14. Gu X, Heinrich A, Li SY, DeFalco T. (2023). Testicular macrophages are recruited during a narrow fetal time window and promote organ-specific developmental functions. *Nat. Commun*. 14(1): 1439. doi: 10.1038/s41467-023-37199-0.
15. El-Sokkary GH. (2001). Quantitative study on the effects of chronic ethanol administration on the testis of adult male rat. *Neuro Endocrinol. Lett*. 22(2): 93-99.
16. Hamed MA, Akhigbe TM, Adeogun AE, Adesoye OB, Akhigbe RE. (2023). Impact of organophosphate pesticides exposure on human semen parameters and testosterone: a systematic review and meta-analysis. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 14: 1227836. doi: 10.3389/fendo.2023.1227836.
17. Hamed MA, Ekundina VO, Akhigbe RE. (2023). Psychoactive drugs and male fertility: impacts and mechanisms. *Reprod. Biol. Endocrinol*. 21(1): 69. doi: 10.1186/s12958-023-01098-2.
18. Han G, Lee SJ, Hong SP, Song J, Cho C. (2024). Ethanol-related transcriptomic changes in mouse testes. *BMC Genomics*. 25(1): 793. doi: 10.1186/s12864-024-10696-2.
19. Hedges JC, Hanna CB, Bash JC, Boniface ER, Burch FC, Mahalingaiah S et al. (2022). Chronic exposure to delta-9-tetrahydrocannabinol impacts testicular volume and male reproductive health in rhesus macaques. *Fertil. Steril*. 117(4): 698-707. doi: 10.1016/j.fertnstert.2021.12.028.
20. Hnatiuk MS, Nesteruk SO, Bilyk YO, Fedoniuk LY, Tverdochlib VV et al. (2024). Morphometric assessment of the structural remodeling of endothelial cells in the arterial and venous systems of the testes in experimental animals under ethanol intoxication. *Wiad Lek*. 77(11): 2311-2316. doi: 10.36740/WLek/197119.
21. Hnatiuk MS, Nesteruk SO, Fedoniuk LY, Yakymchuk OA, Smachylo II, Tverdochlib VV. (2024). Quantitative morphological analysis of age structural changes in prostate of experimental animals with ethanol poisoning. *Wiadomości Lekarskie*. 77(2): 268-272. doi: 10.36740/WLek202402112.
22. Hu CJ, Garcia MA, Nihart A, Liu R, Yin L, Adolphi N et al. (2024). Microplastic presence in dog and human testis and its potential association with sperm count and weights of testis and epididymis. *Toxicol. Sci*. 200(2): 235-240. doi: 10.1093/toxsci/kfae060.
23. Iqbal T, Cao M, Zhao Z, Zhao Y, Chen L, Chen T et al. (2021). Damage to the testicular structure of rats by acute oral exposure of cadmium. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 18(11): 6038. doi: 10.3390/ijerph18116038.
24. Issa SY, Khattab A. (2024). Ethanol concentrations in various biological specimens: living and postmortem forensic toxicology analysis and comprehensive literature review. *J. Forensic. Legal. Med*. 106: 102737. doi: 10.1016/j.jflm.2024.102737.
25. Jorban A, Lunenfeld E, Huleihel M. (2024). Effect of temperature on the development of stages of spermatogenesis and the functionality of Sertoli cells in vitro. *Int. J. Mol. Sci*. 25(4): 2160. doi: 10.3390/ijms25042160.
26. Joshi SC, Mathur R, Gulati N. (2007). Testicular toxicity of chlorpyrifos (an organophosphate pesticide) in albino rat. *Toxicol. Ind. Health*. 23(7): 439-444. doi: 10.1177/0748233707080908.
27. Kesari KK, Agarwal A, Henkel R. (2018). Radiations and male fertility. *Reprod. Biol. Endocrinol*. 16(1): 118. doi: 10.1186/s12958-018-0431-1.
28. Kim HK, Choi WY, Lee JI, Kim TJ. (2025). Impact of conventional cigarette and electronic cigarette use on sperm quality and IVF/ICSI outcomes. *Sci. Rep*. 15(1): 23714. doi: 10.1038/s41598-025-09495-w.
29. Lim J, Squire E, Jung KM. (2023). Phytocannabinoids, the endocannabinoid system and male reproduction. *World J. Men's Health*. 41(1): 1-10. doi: 10.5534/wjmh.220132.
30. Li T, Yao J, Zhang Q, Li Q, Li J, Wang X et al. (2020). Chronic stress impairs male spermatogenesis function and Nectin-3 protein expression in the testis. *Physiol. Res*. 69(2): 297-306. doi: 10.33549/physiolres.934287.
31. Lucky M, Brown G, Dorkin T, Percy R, Shabbir M, Shukla CJ et al. (2018). British Association of Urological Surgeons consensus document for the management of male genital emergencies – testicular trauma. *BJU Int*. 121(6): 840-844. doi: 10.1111/bju.14163.
32. Margiana R, Odhar HA, Prasad K, Oghenemaro EF, M M R, Kumawat R, Uthirapathy S et al. (2025). Does outdoor air pollution cause poor semen quality? A systematic review and meta-analysis. *BMC Urol*. 25(1): 50. doi: 10.1186/s12894-025-01728-4.
33. Maroto M, Torvisco SN, García-Merino C, Fernández-González R, Pericuesta E. (2025). Mechanisms of hormonal, genetic, and temperature regulation of germ cell proliferation, differentiation, and death during spermatogenesis. *Biomolecules*. 15(4): 500. doi: 10.3390/biom15040500.
34. Mihalčíková L, Šlambergová R. (2023). An overview of the methamphetamine effect on male sexual behavior and reproductive system. *Physiol. Res*. 72; Suppl. 5: S445-S459. doi: 10.33549/physiolres.9352.
35. Mortazavi SA, Taeb S, Mortazavi SM, Zarei S, Haghani M et al. (2016). The fundamental reasons why laptop computers should not be used on your lap. *J. Biomed. Phys. Eng*. 6(4): 279-284.
36. Nesteruk SO, Bilyk YO, Klishch IM, Matolinets OM, Yakymchuk OA, Tverdochlib VV. (2024). Indicators of oxidative stress in the organs of the reproductive system of rats under conditions of long-term ethanol exposure. *Polski Merkuriusz Lekarski*. 52(5): 500-504. doi: 10.36740/Merkur202405104.
37. Nguyen-Thanh T, Hoang-Thi AP, Anh Thu DT. (2023). Investigating the association between alcohol intake and male reproductive function: a current meta-analysis. *Heliyon*. 9(5): e15723. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e15723.
38. Odetayo AF, Akhigbe RE, Bassey GE, Hamed MA, Olayaki LA et al. (2024). Impact of stress on male fertility: role of gonadotropin inhibitory hormone // *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 14: 1329564. doi: 10.3389/fendo.2023.1329564.
39. Okada K, Fujisawa M. (2019). Recovery of spermatogenesis following cancer treatment with cytotoxic chemotherapy and radiotherapy. *World J. Men's Health*. 37(2): 166-174. doi: 10.5534/wjmh.180043.
40. Peiris DC, Dhanushka T. (2017). Low doses of chlorpyrifos interfere with spermatogenesis of rats through reduction of sex hormones. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int*. 24(26): 20859-20867. doi: 10.1007/s11356-017-9617-x.

41. Rachdaoui N, Sarkar DK. (2017). Pathophysiology of the effects of alcohol abuse on the endocrine system. *Alcohol Res.* 38(2): 255-276.
42. Ren Y, Shao W, Zuo L, Zhao W, Qin H, Hua Y et al. (2019). Mechanism of cadmium poisoning on testicular injury in mice. *Oncol. Lett.* 18(2): 1035-1042. doi: 10.3892/ol.2019.10418.
43. Sansone A, Di Dato C, de Angelis C, Menafrà D, Pozza C, Pivonello R et al. (2018). Smoke, alcohol and drug addiction and male fertility. *Reprod. Biol. Endocrinol.* 16(1): 3. doi: 10.1186/s12958-018-0320-7.
44. Schifano N, Chiappini S, Mosca A, Miuli A, Santovito MC, Pettorusso M et al. (2022). Recreational drug misuse and its potential contribution to male fertility levels' decline: a narrative review. *Brain Sci.* 12(11): 1582. doi: 10.3390/brainsci12111582.
45. Sebastian R, Raghavan SC. (2015). Endosulfan induces male infertility. *Cell Death Dis.* 6(12): e2022. doi: 10.1038/cddis.2015.368.
46. Shayakhmetova GM, Bondarenko LB, Matvienko AV, Kovalenko VM. (2014). Chronic alcoholism-mediated metabolic disorders in albino rat testes. *Interdiscip. Toxicol.* 7(3): 165-172. doi: 10.2478/intox-2014-0023.
47. Sheynkin Y, Jung M, Yoo P, Schulsinger D, Komaroff E. (2005). Increase in scrotal temperature in laptop computer users. *Hum. Reprod.* 20(2): 452-455. doi: 10.1093/humrep/deh616.
48. Sohi I, Franklin A, Chrysoja B, Wettlaufer A, Rehm J, Shield K. (2021). The global impact of alcohol consumption on premature mortality and health in 2016. *Nutrients.* 13(9): 3145. doi: 10.3390/nu13093145.
49. Srinivasan M, Hamouda RK, Ambedkar B, Arzoun HI, Sahib I, Fondeur J et al. (2021). The effect of marijuana on the incidence and evolution of male infertility: a systematic review. *Cureus.* 13(12): e20119. doi: 10.7759/cureus.20119.
50. Starovlah IM, Radovic Pletikosic SM, Kostic TS, Andric SA. (2020). Reduced spermatozoa functionality during stress is the consequence of adrenergic-mediated disturbance of mitochondrial dynamics markers. *Sci. Rep.* 10(1): 16813. doi: 10.1038/s41598-020-73630-y.
51. Taoto C, Isakda N, Thukhammee W, Phetcharaburanin J, Iamsaard S, Tanphaichitr N. (2024). Rats orally administered with ethyl alcohol for a prolonged time show histopathology of the epididymis and seminal vesicle together with changes in luminal metabolites. *Biomedicines.* 12(5): 1010. doi: 10.3390/biomedicines12051010.
52. Wdowiak A, Skrzypek M, Stec M, Panasiuk L. (2019). Effect of ionizing radiation on the male reproductive system. *Ann. Agric. Environ. Med.* 26(2): 210-216. doi: 10.26444/aaem/106085.
53. Wu W, Chen Y, Cheng Y, Tang Q, Pan F, Tang N et al. (2022). Association between ambient particulate matter exposure and semen quality in fertile men. *Environ. Health.* 21(1): 16. doi: 10.1186/s12940-022-00831-5.
54. Verón GL, Manjon AA, Arévalo L, Santiago J, Vazquez-Levin MH. (2024). Impact of heat waves on semen quality: a retrospective study in Argentina between 2005 and 2023. *Sci. Total Environ.* 943: 173813. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.173813.
55. Yadav S, Yadav A, Mishra RK. (2025). Chronic unpredictable stress exposure disrupts testicular function by modulating germ cell-junctional dynamics and Nrf2/HO-1/IKK $\beta$ /NF- $\kappa$ B pathway. *Reprod. Toxicol.* 132: 108845. doi: 10.1016/j.reprotox.2025.108845.
56. Yamauchi S, Yamamoto K, Ogawa K. (2022). Testicular macrophages produce progesterone de novo promoted by cAMP and inhibited by M1 polarization inducers. *Biomedicines.* 10(2): 487. doi: 10.3390/biomedicines10020487.
57. Yin J, Ye Y, Gao Y, Xu Q, Su M, Sun S et al. (2025). Low-dose ionizing radiation and male reproductive immunity: elucidating subtle modulations and long-term health implications. *Int. J. Mol. Sci.* 26(5): 2269. doi: 10.3390/ijms26052269.
58. Zečević N, Kocić J, Perović M, Stojavljević A. (2025). Detrimental effects of cadmium on male infertility: a review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 290: 117623. doi: 10.1016/j.ecoenv.2024.117623.
59. Zhang X, Wu Y, Fu X, He S, Shi L, Xu H et al. (2024). Toxicity to the male reproductive system after exposure to polystyrene nanoplastics: a macrogenomic and metabolomic analysis. *Toxics.* 12(8): 531. doi: 10.3390/toxics12080531.
60. Zheng S, Zhao N, Lin X, Jiang L, Qiu C, Jiang J et al. (2025). Fine Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>) and the Blood-Testis Barrier: an in vivo and in vitro mechanistic study. *Environ. Health Perspect.* 133(3-4): 47006. doi: 10.1289/EHP14447.
61. Zhu Q, Li X, Ge RS. (2020). Toxicological effects of cadmium on mammalian testis. *Front. Genet.* 11: 527. doi: 10.3389/fgene.2020.00527.

#### Відомості про авторів:

**Нестерук Сергій Олександрович** – к.мед.н., доц. каф. оперативної хірургії та клінічної анатомії ТНМУ ім. І.Я. Горбачевського.  
Адреса: м. Тернопіль, майдан Волі, 1. <https://orcid.org/0000-0003-1573-4480>.

Стаття надійшла до редакції 13.10.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.

В.П. Сорока, О.В. Трохимович, В.В. Головкевич

# Постнатальні аспекти порушення функції тазових органів у дітей з вадами розвитку – крижово-куприковими тератомами після їх резекції (огляд літератури)

ДУ «Всеукраїнський центр материнства та дитинства НАМН України», м. Київ

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 4(89): 130-133. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).130133

**For citation:** Soroka VP, Trokhymovych OV, Holovkevych VV. (2025). Postnatal aspects of pelvic organ dysfunction in children with developmental defects – sacrococcygeal teratomas, after their resection (literature review). Paediatric Surgery (Ukraine). 4(89): 130-133. doi: 10.15574/PS.2025.4(89).130133.

**Мета** – проаналізувати постнатальні аспекти порушення функції тазових органів у дітей після резекції крижово-куприкових тератом (ККТ) для попередження негативних функціональних результатів у віддаленому післяопераційному періоді.

Проведено огляд літератури з використанням баз даних PubMed, Elsevier та навчальних посібників. Проаналізовано порушення іннервації органів малого тазу у віддаленому післяопераційному періоді після резекції ККТ, що включають: нетримання калу та сечі, закрепи, нейрогенний сечовий міхур та сексуальну дисфункцію. Визначено ключові фактори попередження негативних довгострокових функціональних результатів, а саме: індивідуальну диференційовану стратегію лікування, раннє хірургічне втручання, радикальне видалення пухлини, відновлення анатомічної цілісності тазового дна, фізіологічного положення ануса і прямої кишки. Доведено, що диспансерне спостереження та регулярне консервативне лікування є достовірними факторами підвищення якості життя пацієнтів після резекції ККТ та профілактики виникнення симптомів порушення іннервації органів малого тазу у віддаленому післяопераційному періоді.

**Висновки.** Всі етапи надання допомоги новонародженій дитині з ККТ необхідно здійснювати в умовах єдиного медичного закладу – багатофункціонального перинатального центру. Це дає змогу скоординувати роботу різних фахівців (акушерів-гінекологів, дитячих анестезіологів-реаніматологів, дитячих онкологів, урологів, проктологів та інших).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**Ключові слова:** природжена вада розвитку, крижово-куприкова тератома, функція тазових органів, хірургічне лікування, резекція тератоми, ускладнення, дитина, новонароджений, дитина більш старшого віку.

## Postnatal aspects of pelvic organ dysfunction in children with developmental defects – sacrococcygeal teratomas, after their resection (literature review)

V.P. Soroka, O.V. Trokhymovych, V.V. Holovkevych

SI «Ukrainian center of maternity and childhood of the NAMS of Ukraine», Kyiv

**Aim** – to analyze the postnatal aspects of pelvic organ dysfunction in children following the resection of sacrococcygeal teratomas (SCT) and to identify measures for preventing negative functional outcomes in the long-term postoperative period.

A literature review was conducted using PubMed, Elsevier, and medical textbooks. The study analyzed pelvic organ innervation disorders in the long-term period after SCT resection, including fecal and urinary incontinence, constipation, neurogenic bladder, and sexual dysfunction. Key factors for preventing adverse long-term functional outcomes were identified: an individualized treatment strategy, early surgical intervention, radical tumor removal, and the restoration of the anatomical integrity of the pelvic floor and the physiological position of the anus and rectum. It was established that long-term follow-up and regular conservative treatment are reliable factors for improving the quality of life and preventing symptoms of impaired pelvic innervation.

**Conclusions.** All stages of care for newborns with SCT should be provided within a single multidisciplinary perinatal center. This approach ensures effective coordination between specialists, including obstetricians-gynecologists, pediatric anesthesiologists, neonatologists, pediatric oncologists, urologists, and proctologists.

The authors declare no conflict of interest.

**Keywords:** congenital malformation, sacrococcygeal teratoma, pelvic organ function, surgical treatment, teratoma resection, complications, newborn, older child.

## Вступ

ККТ – це рідкісна ембріональна пухлина, що трапляється в новонароджених, немовлят та дітей старшого віку [5,15]. Частота ККТ становить 1 випадок на 40 000 новонароджених, а співвідношення дівчатка/хлопчики – приблизно, 3:1 [5,7]. Клінічна картина у пацієнтів із ККТ зазвичай проявляється за трьома сценаріями: перший – новоутворення діагностовано під час пренатального УЗД; другий – інтранатально; третій – випадкова знахідка в дітей старшого віку (приховані фенотипи ККТ IV типу, які малігнізуються значно частіше) [6,10].

Більшість випадків ККТ – це доброякісні пухлини з позитивним прогнозом (включаючи зрілі та незрілі тератоми). «Золотим стандартом» хірургічного лікування є повна резекція пухлини, з обов'язковим видаленням куприка [11]. Первинне радикальне хірургічне видалення не завжди можливе при пухлинах, що проростають у навколишні структури. У цих випадках рекомендується неоад'ювантна хіміотерапія з подальшою відстроченою резекцією [11]. Гігантські тератоми часто призводять до масивної кровотечі, серцевої недостатності, ДВЗ-синдрому з подальшими летальними наслідками [7,13]. Крім того, навіть після успішної резекції пухлини у деяких пацієнтів протягом диспансерного спостереження можуть виявлятися параліч нижніх кінцівок та порушення функції тазових органів (сечовипускання, дефекації) [5,9].

Частота та фактори, що сприяють розвитку даних ускладнень, залишаються маловивченими, як і особливості якості життя пацієнтів із порушеннями функції тазових органів. Тому виявлення факторів ризику з метою запобігання негативним функціональним результатам є одним з основних напрямів наукових досліджень останніх років [4–10,15]. Наразі відсутні клінічні рекомендації щодо довгострокового спостереження за пацієнтами, які перенесли резекцію ККТ, що й зумовлює актуальність цього дослідження.

**Мета** дослідження – проаналізувати постнатальні аспекти порушення функції тазових органів у дітей після резекції крижово-куприкових тератом (ККТ) для запобігання негативним функціональним результатам у віддаленому післяопераційному періоді.

Порушення нормальної іннервації структур малого таза найчастіше є результатом інвазивного росту пухлини в прилеглі органи та тканини [7]. Іншим етіологічним фактором може бути ятрогенне ушкодження периферичних нервів внаслідок широкої дисекції тканин під час резекції пухлини [5]. Пізні ускладнення, зумовлені порушенням іннервації органів малого таза включають: нетримання калу та сечі, закрепи, нейрогенний сечовий міхур та сексуальну дисфункцію. Також описані випадки парезів та паралічів нижніх кінцівок [3,5,9].

Для оцінки контролю дефекації та сечовипускання, згідно з останніми настановами, рекомендовано використання такі стандартизовані опитувальники: шкалу контролю Бейлора (Baylor Continence Scale – BCS) (>4 років) [4], шкалу оцінки закрепів Клівленда (Cleveland Constipation Scoring – CCS) (>3 років) [2], та шкалу симптомів Ванкувера (Vancouver Symptoms Score – VSS) (>3 років) [1].

За даними провідних дослідників, ускладнення у пізньому післяопераційному періоді спостерігаються в середньому у 23,4% дітей [5,7,9]. Аноректальну дисфункцію відмічено у 17,5–46,0% пацієнтів (у середньому – 29,2%), а саме: 17,5% – Японія [7]; 19,0% – Великобританія [12]; 27,4% – США [3]; 36,0% – Швеція [8]; 46,0% – Нідерланди [6]. Порушення сечовипускання спостерігалось у 13,0–46,0% пацієнтів (у середньому – 30,1%): у 13,0% – Японія [7]; у 25,4% – США [3]; у 31,0% – Нідерланди [6]; у 35,0% – Великобританія [4]; у 46,0% – Швеція [8]. Рухова дисфункція нижніх кінцівок зафіксована в 4,2% дітей (Японія) [7].

Дослідниками з Великої Британії виявлено взаємозв'язок між частотою порушення сечовипускання та локалізацією пухлини. При пухлинах I типу сечовидільну дисфункцію відмічено у 18% випадків; II типу – у 37,7%; III типу – у 32,4%; IV типу – у 60% [12]. Також виявлено пряму кореляцію несприятливих урологічних наслідків з патогістологічним типом ККТ. Нетримання сечі спостерігалось достовірно частіше при незрілих або злоякісних новоутвореннях [12]. Автори з Великої Британії зазначають відсутність взаємозв'язку між частотою порушень функції кишечника та локалізацією пухлини [12]. Натомість, вченими зі Швеції ви-

## Reviews

значено гігантський розмір пухлини та малий гестаційний вік як достовірні несприятливі прогностичні фактори аноректальної дисфункції, а патогістологічний тип ККТ та малий гестаційний вік – сечовидільної [8]. Таким чином, за даними літератури, визначено основні фактори ризику розвитку порушень функції тазових органів: передчасні пологи, гігантський розмір пухлини, внутрішня локалізація (ККТ III–IV типу) [3–8]. На нашу думку, крім описаних пухлинних факторів, вагомим чинником розвитку ускладнень є хірургічні аспекти, які на сьогодні залишаються недостатньо дослідженими, а саме: помилки при відновленні анатомічної цілісності тазового дна та положення ануса і прямої кишки, повторні хірургічні втручання через рецидиви внаслідок неповної резекції, а також інфекційні ускладнення післяопераційної рани.

Дослідниками зі США проведено визначення корелятивного зв'язку між частотою негативних функціональних наслідків, зумовлених порушенням іннервації органів малого таза, та регулярністю консервативного симптоматичного лікування в багатопрофільному центрі [3]. Згідно з отриманими даними, урологічну дисфункцію відмічено в 41,0% пацієнтів, які не проходили лікування, та лише в 10,0% дітей, які отримували регулярну терапію в спеціалізованому центрі. Аналогічні результати отримано і в групі аноректальної дисфункції: 41,0% пацієнтів із наявними симптомами не проходили лікування, тоді як лише 15% дітей із дизуричними проявами отримували регулярну медичну допомогу.

За даними дослідників, рецидивування ККТ спостерігається в середньому у 11,8% пацієнтів у віці 16,8 (1,7–145,1) місяців після оперативного втручання [7]. Описано випадки рецидивів тератоми навіть через 10 років після операції, що свідчить про необхідність періодичної візуалізації та контролю онкомаркерів у пацієнтів із групами ризику [7]. Проблема рецидивування ККТ вивчена недостатньо, хоча провідними вченими виділено безперечні фактори ризику: незрілий або злоякісний тип ККТ та неповна резекція пухлини [7].

Надання допомоги новонародженим із ККТ в умовах єдиного медичного закладу – багатопрофільного перинатального центру – сприяє покращенню результатів хірургічного лікування, запобіганню ускладненням, зниженню рівня летальності та інвалідизації цієї категорії пацієнтів [14]. Диспансерне спостереження та регулярне консервативне лікування є достовірними факторами профілактики симптомів порушення іннервації органів малого таза та підвищення якості життя пацієнтів.

Наявність значної кількості невирішених проблем зумовлює доцільність розробки рекомендацій щодо довготривалого моніторингу та оцінки якості життя в довгостроковій перспективі. Майбутні напрямки досліджень можуть включати мультифакторне оцінювання якості життя, що охоплюватиме соціальні, фізичні, функціональні, когнітивні, психосоціальні та емоційні аспекти в усіх пацієнтів, які перенесли резекцію ККТ.

## Висновки

Проаналізовано та описано порушення іннервації органів малого таза у віддаленому післяопераційному періоді, після резекції ККТ, що включають нетримання калу та сечі, закрепи, нейрогенний сечовий міхур та сексуальну дисфункцію.

Визначено ключові фактори запобігання негативним довгостроковим функціональним результатам: індивідуальна диференційована стратегія лікування, раннє хірургічне втручання, радикальне видалення пухлини, відновлення анатомічної цілісності тазового дна, а також забезпечення фізіологічного положення ануса і прямої кишки.

Доведено, що диспансерне спостереження та регулярне консервативне лікування є достовірними факторами підвищення якості життя пацієнтів після резекції ККТ та профілактики симптомів порушення іннервації органів малого таза у віддаленому післяопераційному періоді.

Усі етапи надання допомоги новонародженій дитині з ККТ необхідно здійснювати в умовах єдиного медичного закладу – багатопрофільного перинатального центру. Це дає змогу скоординувати роботу різних фахівців (акушерів-гінекологів, дитячих анестезіологів-реаніматологів, неонатологів, дитячих онкологів, урологів, проктологів та інших). Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

## References/Література

1. Afshar K, Mirbagheri A, Scott H, MacNeily AE. (2009). Development of a symptom score for dysfunctional elimination syndrome. *J Urol.* 182; 4 Suppl: 1939-1943.
2. Agachan F, Chen T, Pfeifer J, Reissman P, Wexner SD. (1996). A constipation scoring system to simplify evaluation and management of constipated patients. *Dis Colon Rectum.* 39(6):681-685.
3. Ahmad H, Halleran DR, Vardanyan J, Mathieu W, Stanek J, Rannalli M et al. (2021, Jun). Functional fecal and urinary outcomes after sacrococcygeal mass resection in pediatric patients. *J Pediatr Surg.* 56(6): 1142-1147.
4. Brandt ML, Daigneau C, Graviss EA, Naik-Mathuria B, Fitch ME, Washburn KK. (2007). Validation of the Baylor continence scale in children with anorectal malformations. *J Pediatr Surg.* 42(6): 1015-1021.
5. Braungart S, James EC, Powis M, Gabra H; CCLG Surgeons Collaborators; Losty PD. (2023, Jan). Sacrococcygeal teratoma:

- Long-term outcomes. A UK CCLG Surgeons Group Nationwide Study. *Pediatr Blood Cancer*. 70(1): e29994.
6. Derikx JP, De Backer A, van de Schoot L, Aronson DC, de Langen ZJ, van den Hoonaard TL et al. (2007, Jun). Long-term functional sequelae of sacrococcygeal teratoma: a national study in The Netherlands. *J Pediatr Surg*. 42(6): 1122-1126.
  7. Fumino S, Hirohata Y, Takayama S, Tajiri T, Usui N, Taguchi T et al. (2024, Apr). Long-Term Outcomes of Infantile Sacrococcygeal Teratoma: Results from a Multi-Institutional Retrospective Observational Study in Japan. *J Pediatr Surg*. 59(4): 587-592.
  8. Hambræus M, Al-Mashhadi A, Wester T, Svensson PJ, Stenström P, Lilja HE. (2019, Aug). Functional outcome and health-related quality of life in patients with sacrococcygeal teratoma – a Swedish multicenter study. *J Pediatr Surg*. 54(8): 1638-1643.
  9. Masahata K, Ichikawa C, Makino K, Abe T, Kim K, Yamamichi T et al. (2020, Nov). Long-term functional outcome of sacrococcygeal teratoma after resection in neonates and infants: a single-center experience. *Pediatr Surg Int*. 36(11): 1327-1332.
  10. Pierce JL, Frazier AL, Amatruda JF. (2018, Feb 4). Pediatric Germ Cell Tumors: A Developmental Perspective. *Adv Urol*. 2018: 9059382.
  11. Rescorla F, Billmire D, Stolar C, Vinocur C, Colombani P, Cullen J et al. (2001, Jan). The effect of cisplatin dose and surgical resection in children with malignant germ cell tumors at the sacrococcygeal region: a pediatric intergroup trial (POG 9049/CCG 8882). *J Pediatr Surg*. 36(1): 12-17.
  12. Salim A, Raitio A, Losty PD. (2023, Jan). Long-term functional outcomes of sacrococcygeal teratoma – A systematic review of published studies exploring ‘real world’ outcomes. *Eur J Surg Oncol*. 49(1): 16-20.
  13. Soroka VP. (2025). A rare observation of resection of giant sacrococcygeal teratoma complicated by massive bleeding in a newborn child. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 1(86): 137-140.
  14. Trokhymovych OV. (2025). Organization of medical care for pregnant women, fetuses and children with critical congenital malformations in a multifunctional perinatal center. *Paediatric Surgery (Ukraine)*. 2(87): 16-20.
  15. Van Heurn LJ, Coumans ABC, Derikx JPM, Bekker MN, Bilar-do KM, Duin LK et al. (2021, Oct). Factors associated with poor outcome in fetuses prenatally diagnosed with sacrococcygeal teratoma. *Prenat Diagn*. 41(11): 1430-1438. Epub 2021 Aug 5.
  16. Zvizdic Z et al. (2023, Mar). A Long-Term Outcome of the Patients with Sacrococcygeal Teratoma: A Bosnian Cohort. *Turk Arch Pediatr*. 58(2): 168-173.

#### Відомості про авторів:

**Сорока Василь Петрович** – к.мед.н., засл. лікар України, пров.н.с. відділення торако-абдомінальної дитячої хірургії з ліжками урогінекології Центру неонатальної хірургії вад розвитку та їх реабілітації ДУ «ВЦМД НАМН України». Адреса: м. Київ, вул. П. Майбороди, 8; тел.: +38 (044) 483-62-28.

**Трохимович Ольга Віталіївна** – д.мед.н., керівник відділення планування сім'ї ДУ «ВЦМД НАМН України». Адреса: м. Київ, вул. П. Майбороди, 8. <https://orcid.org/0000-0001-7423-528>.

**Головкевич Віктор Володимирович** – уролог дитячий відділення торако-абдомінальної дитячої хірургії з ліжками урогінекології Центру неонатальної хірургії вад розвитку та їх реабілітації ДУ «ВЦМД НАМН України». Адреса: м. Київ, вул. П. Майбороди, 8; тел.: +38 (044) 483-62-28.

Стаття надійшла до редакції 29.07.2025 р., прийнята до друку 12.12.2025 р.

## Правила подачі та оформлення статей

Авторська стаття направляється до редакції електронною поштою у форматі MS Word. Стаття супроводжується офіційним направленням від установи, в якій була виконана робота, з візою керівництва (наукового керівника), завіреним круглою печаткою установи, експертним висновком про можливість відкритої публікації, висновком етичного комітету установи або національної комісії з біоетики. На останній сторінці статті мають бути власноручні підписи всіх авторів та інформація про відсотковий внесок у роботу кожного з авторів.

Приймаються оригінали супровідних документів з примірником рукопису, підписаного автором(ами), надіслані поштою, або скановані копії вищезазначених документів і першої (титової) сторінки статті з візою керівництва, печаткою установи і підписами всіх авторів у форматі Adobe Acrobat (\*.pdf), надіслані на електронну адресу редакції.

Статті приймаються українською або англійською мовами.

**Структура матеріалу:** вступ (стан проблеми за даними літератури не більше ніж 5–7-річної давності); мета, завдання, матеріали та методи; результати дослідження та їх обговорення (висвітлення статистично опрацьованих результатів дослідження); висновки; перспективи подальших досліджень у даному напрямку; список літератури (два варіанти); реферати українською, російською та англійською мовами.

**Реферат** є незалежним від статті джерелом інформації, коротким і послідовним викладенням матеріалу публікації за основними розділами і має бути зрозумілим без самої публікації. Його обсяг не повинен перевищувати 200–250 слів. Обов'язково подаються ключові слова (від 3 до 8 слів) у порядку значущості, що сприятиме індексуванню статті в інформаційно-пошукових системах.

Реферат до оригінальної статті повинен мати структуру, що повторює структуру статті: мета дослідження; матеріали і методи; результати; висновки; ключові слова. Усі розділи у рефераті мають бути виділені в тексті жирним шрифтом.

Для інших статей (огляд, лекція, клінічний випадок тощо) реферат повинен включати короткий виклад основної концепції статті та ключові слова.

**Оформлення статті.** На першій сторінці зазначаються: індекс УДК ліворуч, ініціали та прізвища авторів, назва статті, назва установ, де працюють автори та виконувалось дослідження, місто, країна.

За умови проведення досліджень із залученням будь-яких матеріалів людського походження, в розділі «Матеріали і методи» автори повинні зазначати, що дослідження проводилися відповідно до стандартів біоетики, були схвалені етичним комітетом установи або національною комісією з біоетики. Те саме стосується і досліджень за участю лабораторних тварин.

**Наприклад:** «Дослідження виконані відповідно до принципів Гельсінської Декларації. Протокол дослідження ухвалений Локальним етичним комітетом (ЛЕК) всіх зазначених у роботі установ. На проведення досліджень було отримано поінформовану згоду батьків дітей (або їхніх опікунів)».

«Під час проведення експериментів із лабораторними тваринами всі біоетичні норми та рекомендації були дотримані».

Кількість ілюстрацій (рисунки, схеми, діаграми, фото) має бути мінімальною. Діаграми, графіки, схеми будуються у програмах Word або Excel; фотографії повинні мати один із наступних форматів: PDF, TIFF, PSD, EPS, AI, CDR, QXD, INDD, JPG (150–600 dpi).

Таблиці та рисунки розташовують у тексті статті відразу після першого згадування. У підпису до рисунку наводять його назву, розшифровують усі умовні позначки (цифри, літери, криві тощо). Таблиці мають бути оформлені відповідно до вимог ДАК, бути компактними, пронумерованими, мати назву. Номери таблиць, їхні заголовки і цифрові дані, оброблені статистично, повинні точно відповідати наведеним у тексті статті.

Посилання на літературні джерела у тексті позначаються цифрами у квадратних дужках та відповідають нумерації у списку літератури. **Статті зі списком літературних джерел у вигляді посилань на кожній сторінці або кінцевих посилань не приймаються.**

Необхідно подавати два варіанти списку літератури.

**Перший варіант** подається відразу після тексту статті, джерела розташовуються за алфавітом (спочатку праці, опубліковані українською або російською мовами, далі – іншими мовами).

**Другий варіант** повністю відповідає першому, але джерела українською та російською мовами **ПЕРЕКЛАДАЮТЬСЯ!** на англійську мову. Цей варіант необхідний для сайту, підвищення індексу цитування та аналізу статті у міжнародних наукометричних базах даних.

Обидва варіанти оформлюються за стилем APA (American Psychological Association style), який використовується у дисертаційних роботах.

**Приклад оформлення для обох варіантів:**

Автор АА, Автор ВВ, Автор СС. (2005). Назва статті. Назва журналу. 10(2); 3: 49-53.

Автор АА, Автор ВВ, Автор СС. (2006). Назва книги. Місто: Видавництво: 256.

У тексті статті допускаються загальноприйняті скорочення, а також авторські скорочення, які обов'язково розшифровуються у тексті при першому згадуванні та залишаються незмінними по всьому тексту.

У кінці статті автори мають заявити про наявність будь-яких конкуруючих фінансових інтересів щодо написання статті. Зазначення конфлікту інтересів або його відсутності у статті **є обов'язковим**.

**Приклад:** «Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів» або «Матеріал підготовлений за підтримки компанії...»

Стаття закінчується відомостями про **усіх авторів**. Зазначаються прізвище, ім'я, по батькові (повністю), вчений ступінь, вчене звання, посада в установі/установах, робоча адреса з поштовим індексом, робочий телефон і адреса електронної пошти; ідентифікатор ORCID (<https://orcid.org/register>). Автор, відповідальний за зв'язок із редакцією, надає свій мобільний/контактний номер телефону.

Відповідальність за достовірність та оригінальність наданих матеріалів (фактів, цитат, прізвищ, імен, результатів досліджень тощо) несуть автори.

Редакція забезпечує рецензування статей, виконує спеціальне та літературне редагування, залишає за собою право скорочувати обсяг статей. Відмова авторам у публікації статті може здійснюватись без пояснення причин і не вважається негативним висновком щодо наукової та практичної значущості роботи.

**Статті, оформлені без дотримання правил, не розглядаються і не повертаються авторам.**

Редколегія



**WORLD THROMBOSIS DAY**  
**13 OCTOBER**

**#Ukraine\_support WTD 2026**

**Шановний колего!**

Ми прагнемо підвищити обізнаність про тромбоз, включаючи його причини, фактори ризику, симптоми та доказову профілактику і лікування. Зрештою, ми прагнемо зменшити смертність та інвалідність, спричинену цим станом.

Наша місія підтримує глобальну ціль Всесвітньої Асамблеї охорони здоров'я щодо скорочення передчасної смертності від неінфекційних захворювань на 25 відсотків до 2025 року.

**Долучайтесь! Збережемо здоров'я нації!**  
**Обізнаний сьогодні — врятований завтра!**  
**Разом ми сила!**

**EYES OPEN TO THROMBOSIS**

**wtd-ukraine.org**

IX МІЖНАРОДНИЙ КОНГРЕС  
18–19 листопада 2026 online

# Antibiotic resistance STOP!

*Стійкість до антибіотиків зростає до загрозово високих рівнів у всьому світі. Нові механізми стійкості з'являються і поширюються всюди, створюючи перешкоди для лікування розповсюджених інфекційних захворювань*

- World Health Organization

## ANTIBIOTIC RESISTANCE



Розвиток нових антибіотиків має надзвичайне значення, оскільки еволюція мікробів продовжуватиметься безперервно, а резистентність до лікарських засобів зростає.

Проблема антибіотикорезистентності стала глобальним викликом сьогодення. Головною його причиною вважають нераціональне застосування антибактеріальної терапії.

Тож під час Всесвітнього тижня поінформованості про антибіотики, в Україні традиційно буде проведено

**V міжнародний конгрес «Antibiotic resistance STOP!»,**  
який об'єднає провідних спеціалістів медичної галузі для розробки стратегії контролю розвитку антибіотикорезистентності

**[antibiotic-congress.com](http://antibiotic-congress.com)**