



УДК 612.3.335

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.14.2025.2>

МОРФОМЕТРИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУДИН МІКРОГЕМОЦИРКУЛЯТОРНОГО РУСЛА СЛИЗОВОЇ ОБОЛОНКИ ТОВСТОЇ КИШКИ ПРИ УРАЖЕННІ ПІДДОСЛІДНИХ ТВАРИН ТЕТРАХЛОРМЕТАНОМ

А. М. Головатюк¹, О. В. Кратко², Т. О. Головатюк³

У статті досліджено структурні зміни судин мікрогемоциркуляторного русла слизової оболонки товстої кишки при токсичному гепатиті індукованому тетрахлорметаном. Токсичне ураження піддослідних тварин тетрахлорметаном призводить до пошкодження печінки, розвитку гепатиту, яке супроводжується вираженими змінами у будові судин шлунково-кишкового тракту.

Дослідження проводилось на білих статевозрілих щурах-самцях. За допомогою морфологічних методів було вивчено мікрогемоциркуляторне русло слизової оболонки товстої кишки при токсичному гепатиті. Токсичний гепатит був змодельований шляхом внутрішньошлункового введення чотирьохлористого вуглецю. Дослідження проводились на 2-у, 7-у та 14-у добу експерименту. При морфометричному вивченні мікрогемоциркуляторного русла визначали діаметр артеріол, прекапілярів, капілярів, посткапілярів, венул, а також щільність судинного русла на 1 мм² тканини.

В результаті дослідження виявлено, що токсичне ураження печінки, спричинене тетрахлорметаном, супроводжується вираженими морфометричними змінами в судинах мікрогемоциркуляторного русла слизової оболонки товстої кишки піддослідних тварин. Найбільш виражені структурні зміни даної оболонки товстої кишки спостерігались на 7-у добу експерименту.

Експериментально встановлено, що артеріальна частина мікрогемоциркуляторного русла (артеріоли, прекапіляри та капіляри) м'язової оболонки товстої кишки в умовах змодельованої патології звужувалася. Венозна частина мікрогемоциркуляторного русла (посткапіляри, венули) істотно розширювалася. Це свідчило про розвиток спастичних реакцій, порушення мікроциркуляції та гіпоксію тканин. В уражених тварин у товстій кишці спостерігався набряк строми оболонок, нечіткі межі клітин, тьмяна та зерниста цитоплазма, спостерігалось повнокрів'я судин,

¹ кандидат біологічних наук,
доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання
(Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка, м. Кременець)
e-mail: liudmylam¹@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2099-145X

² кандидат історичних наук,
доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання
(Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка, м. Кременець)
e-mail: kratkoolya@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2708-4684

³ лікар-методист
(КНП «Тернопільська обласна клінічна лікарня» Тернопільської обласної ради, м. Тернопіль)
e-mail: tanua191992@gmail.com.
ORCID: 0009-0001-5460-813X

крововиливи, дистрофічні зміни епітеліоцитів, інфільтрати. Також, виявлено зниження кількості капілярів на одиницю площі тканини, що є ознакою ішемії.

Ключові слова: слизова оболонка, товста кишка, мікрогемоциркуляторне русло, токсичний гепатит, щури.

MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE VESSELS OF THE MICROHEMOCIRCULATORY BED OF THE COLONIC MUCOSA IN EXPERIMENTAL ANIMALS EXPOSED TO CARBON TETRACHLORIDE

L. M. Holovatiuk, O. V. Kratko, T. O. Holovatiuk

The article investigates structural changes in the microcirculatory vessels of the colonic mucosa in toxic hepatitis induced by carbon tetrachloride. Toxic damage to experimental animals by carbon tetrachloride leads to liver damage and the development of hepatitis, which is accompanied by pronounced changes in the structure of the gastrointestinal tract vessels. The study was conducted on white sexually mature male rats. The microcirculatory vessels of the colonic mucosa in toxic hepatitis were studied using morphological methods. Toxic hepatitis was simulated by intragastric administration of carbon tetrachloride. The studies were conducted on the 2nd, 7th and 14th days of the experiment. During the morphometric study of the microcirculatory vessels, the diameter of arterioles, precapillaries, capillaries, postcapillaries, venules, as well as the density of the vascular bed per 1 mm² of tissue were determined.

As a result of the study, it was found that toxic liver damage caused by carbon tetrachloride is accompanied by pronounced morphometric changes in the vessels of the microhemocirculatory bed of the colon mucosa of experimental animals. The most pronounced structural changes in this colon mucosa were observed on the 7th day of the experiment. It was experimentally established that the arterial part of the microhemocirculatory bed (arterioles, precapillaries and capillaries) of the muscular coat of the colon narrowed under conditions of simulated pathology. The venous part of the microhemocirculatory bed (postcapillaries, venules) significantly expanded. This indicated the development of spastic reactions, impaired microcirculation and tissue hypoxia. In the affected animals, the colon showed edema of the stroma of the membranes, indistinct cell boundaries, dim and granular cytoplasm, vascular hyperemia, hemorrhages, dystrophic changes in epithelial cells, and infiltrates. Also, a decrease in the number of capillaries per unit area of tissue was detected, which is a sign of ischemia.

Key words: mucosa, colon, microhemocirculatory system, toxic hepatitis, rats.

Вступ

Згідно з даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, захворювання органів травлення входять до числа найпоширеніших у світі, поступаючись лише патологіям серцево-судинної системи та онкологічним хворобам. Поширенню цих захворювань сприяє низка несприятливих чинників, серед яких – порушення режиму та якості харчування, забруднення довкілля, зловживання лікарськими препаратами, підвищення рівня наркоманії й алкоголізму, а також інтенсивна хімізація різних сфер людської діяльності.

Згідно із сучасними уявленнями, результатом токсичного впливу на організм людей і тварин різних хімічних речовин може бути неспецифічний за більшістю клінічних та біохімічних проявів синдром ендотоксикації (EI), який характеризується невідповідністю між утворенням і виведен-

ням як продуктів нормального обміну, так і речовин патологічно зміненого метаболізму (Дмухальська і Корда, 2021). Під впливом ендотоксикації розвиваються запальні процеси в організмі (Григор'єва, 2023). Насамперед уражається печінка, яка виконує ключові функції, в тому числі й детоксикуючу.

Однією з найбільш вивчених моделей токсичного ураження печінки в експерименті є застосування тетрахлорметану, який індукує гострий токсичний гепатит. При цьому патологічний процес не обмежується лише ураженням гепатоцитів, а поширюється також на інші органи травної системи. Зокрема, зміни спостерігаються у кишечнику. У цьому контексті надзвичайно важливим є дослідження змін мікрогемоциркуляторного русла товстої кишки, оскільки порушення місцевої мікроциркуляції здатне провокувати розвиток вторинних

дистрофічних і запальних процесів, а також дисфункція кишкового бар'єра. (Татарчук, 2018).

Проблематика токсичного ураження печінки та його системного впливу на організм останніми роками набуває дедалі більшої уваги вітчизняних та зарубіжних науковців. у численних дослідженнях описано структурно-функціональні зміни в органах травлення при токсичному гепатиті. Доведено, що ураження печінки, спричинене тетрахлорметаном, супроводжується не лише пошкодженням гепатоцитів, але й порушенням мікрогемоциркуляції в різних відділах шлунково-кишкового тракту (Процайло та ін., 2022; Гнатюк та ін., 2022).

На сьогодні морфометричні особливості судин мікрогемоциркуляторного русла слизової оболонки товстої кишки при токсичному ураженні печінки досліджені недостатньо. Особливо це стосується умов токсичного гепатиту, індукованого тетрахлоретаном. У зв'язку з цим актуальним є проведення морфометричного аналізу змін мікросудин товстої кишки в умовах токсичного ураження печінки. Таке дослідження дозволяє не лише виявити ранні патоморфологічні маркери мікроциркуляторних порушень, а й визначити потенційні напрямки для їхньої корекції, що є важливим для розробки ефективних стратегій (Гнатюк та ін., 2020).

У цьому контексті актуальним є морфометричний аналіз змін мікросудин товстої кишки при токсичному ураженні печінки».

Метою дослідження є аналіз мікросудин слизової оболонки товстої кишки при токсичному гепатиті в умовах експериментального ураження тетрахлорметаном у піддослідних тварин.

Завдання дослідження: визначити діаметри артеріол, прекапілярів, капілярів, посткапілярів та венул слизової оболонки товстої кишки, а також щільність судин мікрогемоциркуляторного русла у інтактних тварин; визначити діаметри судин мікрогемоциркуляторного русла слизової оболонки товстої кишки на 2-у, 7-у та 14-у доби експерименту; проаналізувати одержані дані.

Матеріал і методи

У ході дослідження було проаналізовано морфологію слизової оболонки товстої кишки у 20 білих статевозрілих самців щурів. Тварини були розподілені на чотири експериментальні групи по п'ять тварин у кожній. Перша група (контрольна) складалася з клінічно здорових тварин, які утримувалися в стандартних умовах віва-

рію без втручань. Друга група включала щурів із експериментально індукованим токсичним гепатитом, евтаназованих на другу добу після початку експерименту. У третю групу входили тварини з аналогічною моделлю ураження, евтаназовані на сьому добу досліду. Четверта група складалася з щурів, евтаназованих на чотирнадцяту добу після моделювання токсичного ураження печінки. Такий розподіл дозволив простежити динаміку змін у структурі товстої кишки залежно від тривалості патологічного процесу.

Модель токсичного гепатиту у щурів реалізовували шляхом внутрішньошлункового введення 50% розчину тетрахлорметану (CCl_4), розведеного в оливковій олії у співвідношенні 1:1. Евтаназію тварин здійснювали шляхом кровопускання після попереднього введення наркозу, індукованого тіопентал-натрієм. Для вивчення мікрогемоциркуляторного русла товстої кишки проводили ін'єкцію судин туш-желатиною масою. Після фіксації виконували просвітлення препаратів, що дозволяло візуалізувати судинну мережу.

Статистична обробка проведена за допомогою програми Excel та пакету програм "Statistica 6,0" (Stat Soft, США) на персональному комп'ютері типу IBM.

Результати

У результаті детального морфометричного дослідження встановлено, що токсичне ураження печінки супроводжується вираженими змінами структурних компонентів судинної мережі слизової оболонки товстої кишки. Виявлені порушення свідчать про ремоделювання мікросудин, що може бути патогенетичною ланкою розвитку кишкових порушень при токсичному гепатиті (табл. 1).

Всестороннім аналізом показаних в таблиці 1 морфометричних показників слизової оболонки товстої кишки при токсичному гепатиті встановлено, що зміни спостерігалися на 2-у добу експерименту. Так, діаметр артеріол товстої кишки зменшився на 6,0 %. Подібні зміни відзначено у досліджуваних морфометричних параметрах прекапілярів у змодельованих патологічних умовах. Так, діаметр прекапілярів у слизовій оболонці товстої кишки зменшився на 3,8 %. Діаметри капілярів у даних експериментальних умовах також зменшувалися на 4,1 %. Посткапіляри слизової оболонки товстої кишки на 2-у добу токсичного гепатиту розширювалися на 7,56 %. Венули слизової

Таблиця 1

Морфометрична характеристика судин мікрогемоциркуляторного русла слизової оболонки товстої кишки при токсичному гепатиті ($M \pm m$)

Діаметр досліджуваних структур, мкм	Група спостережень			
	Контрольна	2-а доба	7-а доба	14-а доба
Артеріоли	18,20±0,33	17,10±0,30*	15,90±0,22**	16,50±0,22*
Прекапіляри	10,60±0,15	10,20±0,12*	9,40±0,12**	9,70±0,15*
Капіляри	5,80±0,09	5,56±0,09	5,30±0,02**	5,45±0,15**
Посткапіляри	11,90±0,15	12,80±0,18*	13,50±0,18**	12,90±0,15**
Венули	26,40±0,51	28,90±0,54*	30,40±0,54**	29,10±0,51*
Щільність судин мікрогемоциркуляторного русла	3380,5±74,40	3237,2±63,30	3160,0±57,60	3241,8±63,90

Примітки: 1.*– $p < 0,05$; 2.**– $p < 0,01$; 3.***– $p < 0,001$ – величини, що статистично достовірно відрізняються від контрольних.

оболонки досліджуваного органа також розширилися на 9,46 %. Число судин мікрогемоциркуляторного русла на 1 мм² слизової оболонки товстої кишки в умовах змодельованої патології зменшилося на 4,2 % порівняно з аналогічним контрольним.

На 7-у добу досліду морфометричні параметри судин мікрогемоциркуляторного русла були змінені у більшому ступені. В досліджуваних експериментальних умовах діаметр артеріол зменшився на 12,6 %. Діаметр прекапілярів слизової оболонки товстої кишки знизився на 11,3 %. Обмінна ланка мікрогемоциркуляторного русла (капіляри) в умовах змодельованої патології також зменшилися на 8,6 %, тобто виявилися спазмованими. Виносна ланка гемомікроциркуляторного русла (посткапіляри, венули) слизової оболонки товстої кишки на 7-у добу токсичного гепатиту розширювалися. Так, діаметр посткапілярів збільшився на 13,4 %. Діаметр венул при цьому зріс на 15,1 %. В товстій кишці, що супроводжувалося порушенням кровопостачання, про що свідчило зниження кількості судин мікрогемоциркуляторного русла на 1 мм² слизової оболонки досліджуваного органа. Встановлено, що при цьому вказаний морфометричний параметр зменшився на 6,5 %.

На 14-у добу токсичного гепатиту морфологічні параметри мікрогемоциркуляторного русла слизової оболонки товстої кишки змінювалися у меншому ступені порівняно із 7-и добовим дослідженням. Так, в даний період експерименту діаметр артеріол слизової оболонки виявився меншим на 9,3 % порівняно з аналогічним контрольним. Діаметр прекапілярів слизової оболонки

товстої кишки виявився меншим на 8,5 % порівняно з аналогічним контрольним, на 3,2 % більшим порівняно з попередньою групою. Діаметр капілярів слизової оболонки товстої кишки зменшився на 6,0 % порівняно з таким самим контрольним параметром. Досліджуваний морфометричний показник був також на 2,8 % більшим за аналогічний параметр попередньої групи (7-ми добовий гепатит). В умовах експерименту посткапіляри слизової оболонки товстої кишки розширювалися на 8,4 % порівняно з тими ж параметрами контрольної групи, а венули – на 10,2 %.

Обговорення

У публікаціях останнього десятиріччя підкреслюється важливість регіонарних мікроциркуляторних порушень як ключового механізму розвитку кишкової дисфункції (Whitmarsh et al., 2024). Дослідники зазначають, що гіпоксія та ішемія, зумовлені мікросудинними порушеннями, відіграють провідну роль у запуску вторинних дистрофічно-запальних процесів у слизовій оболонці товстої кишки. Морфометричний аналіз мікросудин дозволяє кількісно оцінити вираженість порушень, що має важливе діагностичне та прогностичне значення (Reunamo et al., 2025).

Водночас більшість досліджень зосереджені переважно на вивченні змін у печінці, тоді як морфофункціональні аспекти стану судин мікрогемоциркуляторного русла товстої кишки при токсичному гепатиті вивчені недостатньо. Це створює необхідність у проведенні комплексних досліджень, які б розкрили патогенетичні зміни на тканинному рівні в умовах системного токсичного впливу.

У численних дослідженнях доведено, що тетрахлорметан, як хлорований вуглеводень, спричиняє гепатоцелюлярне пошкодження, розвиток оксидативного стресу, порушення мікроциркуляції та системної інтоксикації організму (Тупол, 2015). Зміни у системі мікрогемодикуляції при токсичних гепатитах набувають дедалі більшої уваги дослідників (Гнатюк та ін., 2020), адже мають системний характер і впливають на функціональний стан органів-мішеней (Григор'єва, 2023).

У дослідженнях показано системні зміни у внутрішніх органах при рубцевій цирозній трансформації печінки легені, підшлункова залоза, селезінка, нирки. Це вказує, що токсичне ураження печінки має міжсистемний ефект (Xiang et al., 2022). Науковцями детально описано механізм дії CCl_4 , роль цитохрому P450, утворення активних радикалів та їхній вплив на клітинні структури та індукцію апоптозу (Головенко, 2025). Це – основа для розуміння морфологічних змін на судинному рівні (Frank et al., 2020). Дослідження морфометричних змін судин мікрогемодикуляторного русла слизової оболонки товстої кишки при токсичному гепатиті, індукованому тетрахлорметаном, є важливим для науки, оскільки дає змогу детальніше

розкрити патогенетичні зв'язки між печінкою та кишками (Татарчук, 2018).

Висновки

У результаті дослідження встановлено, що токсичне ураження печінки, індуковане тетрахлорметаном, супроводжується значними морфометричними змінами у судинах мікрогемодикуляторного русла м'язової оболонки товстої кишки у піддослідних тварин. Найбільш інтенсивні порушення спостерігалися на сьомий день експерименту: артеріальна ланка (артеріоли, прекапіляри та капіляри) зменшилася, тоді як венозна частина (посткапіляри та венули) розширилася. Ці зміни вказують на розвиток спасничих реакцій, порушення мікроциркуляції та прогресування тканинної гіпоксії.

Додатково зафіксовано зниження кількості капілярів на одиницю площі тканини, що свідчить про ішемічні процеси. Отримані дані дають підстави вважати, що такі судинні зміни в товстій кишці є одним із ключових патогенетичних механізмів розвитку кишкової дисфункції на тлі печінкової патології. Застосовані кількісні морфометричні методи аналізу та отримані результати можуть слугувати інструментом для оцінки ступеня змін досліджуваного органа в морфологічних лабораторіях і при вивченні його будови.

Список використаної літератури

- Гнатюк М.С., Татарчук Л.В., Гданська Н.М., Монастирська Н.Я. Кількісні морфологічні аспекти вивчення особливостей структурної перебудови судин гемодикуляторного русла шлуночків серця в умовах пострезекційної портальної гіпертензії *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*. 2022. №1. С. 70–74. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2022.v.i1.12991>
- Гнатюк М.С., Процайло О.М., Татарчук Л.В. Особливості кількісних морфологічних змін артерій товстої кишки при резекції об'ємів паренхіми печінки. *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*. 2020. №3. С. 66–71. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2020.v.i3.11391>
- Головенко М.Я. Модернізація класифікації цитохромів P-450 на основі структурно-функціонального підходу. *Медицина та клінічна хімія*. 2025. № 2. С. 5–17. <https://doi.org/10.11603/mcch.2410-681X.2025.i2.15520>
- Григор'єва Н.П. Вплив тетрахлорметанової інтоксикації на активність антиоксидантних ферментів у нирках щурів за умов зміненого фотоперіоду (автореферат / дисертація). Чернівці: Буковинський державний медичний університет; 2023. [Електронний ресурс]. URL: <https://dspace.bsmu.edu.ua/handle/123456789/20933> (дата звернення 10.08.2025).
- Дмухальська Є.Б., Корда М.М. Вікові особливості змін показників ендогенної інтоксикації і стан мембран за дії важких металів та гліфосату. *Мед. та клініч. хімія*. 2021. № 4 (4). С. 22–29. <https://doi.org/10.11603/mcch.2410-681X.2021.i4.12729>
- Процайло О.М., Гнатюк М.С., Татарчук Л.В. Морфометричне вивчення особливостей ремоделювання структур товстої кишки в умовах пострезекційної портальної гіпертензії. *Здобутки клінічної та експериментальної медицини*. 2022. № 3. С. 78–82. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2022.v.i3.13292>
- Татарчук Л.В. Кількісна морфологічна оцінка структурної перебудови артерій порожньої кишки при пострезекційній портальній гіпертензії. *Вісник наукових досліджень*. 2018. № 1. С. 136–140. <https://doi.org/10.11603/2415-8798.2018.1.8757>

Тупол А.Д. Структурні та морфометричні зміни печінки при експериментальній термічній травмі. Вісник наукових досліджень ТДМУ. 2015. № 1. С. 114–115. <https://doi.org/10.11603/2415-8798.2015.1.4600>

Frank D., Ofir R., Zolotarov L. etc. Inducing acute liver injury in rats via carbon tetrachloride (CCl₄) exposure through an orogastric tube. Journal of Visualized Experiments. 2020. Vol. 159. P. 580–582. <https://doi.org/10.3791/60695>.

Reunamo A., Hannula M., Virta J., Kurppa K., Lindfors K., Hyttinen J. X-ray microtomography imaging enables accurate visualization and quantification of the small-intestinal villi microvasculature: – celiac disease as a model. Microvascular Research. 2025. Vol. 158. P. 350–358. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2025.104782>.

Whitmarsh T., Cope W., Carmona-Bozo J., Manavaki R., Sammut S-J., Woitek R., Provenzano E., Brown E. L., Bohndiek S. E., Gallagher F. A., Caldas C., Gilbert F. J., Markowitz F. Quantifying the tumour vasculature environment from CD-31 immunohistochemistry images of breast cancer using deep learning based semantic segmentation. Breast Cancer Research. 2025. Vol. 27(1). P. 17–24. <https://doi.org/10.1186/s13058-024-01950-2>.

Xiang H., Liu Z., Xiang H., Xiang D., Xiao S., Xiao J., Shen W., Hu P., Ren H., Peng M. Dynamics of the gut–liver axis in rats with varying fibrosis severity. International Journal of Biological Sciences. 2022. Vol. 18, No. 8. P. 3390–3404. <https://doi.org/10.7150/ijbs.69833>.

References

Hnatiuk, M.S., Tatarchuk, L.V., Hdanska, N.M., & Monastyrskaya N.Ya. (2022). Kilkisni morfolohichni aspekty vyvchennia osoblyvostei strukturnoi perebudovy sudyn hemomikrotsyrkuliatornoho rusla shlunochkiv sertsia v umovakh postrezektsiinoi portalnoi hipertenzii [Several morphological aspects of the study of the peculiarities of the structural remodeling of the hemomicrocirculatory vessels of the heart valves in conditions of post-resection portal hypertension]. *Zdobutky klinichnoi i eksperymentalnoi medytsyny [Achievements of clinical and experimental medicine]*, 1, 70–74. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2022.v.i1.12991> [in Ukrainian].

Hnatiuk, M.S., Protsailo, O.M., & Tatarchuk, L.V. (2020). Osoblyvosti kilkisnykh morfofunktsionalnykh zmin arterii tovtstoi kyshky pry rezektsiia obiemiv parenkhimy pechinky [Peculiarities of multiple morphofunctional changes in the colonic artery during resection of liver parenchyma volumes]. *Zdobutky klinichnoi i eksperymentalnoi medytsyny [Achievements of clinical and experimental medicine]*, 3, 66–71. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2020.v.i3.11391> [in Ukrainian].

Golovenko, M.Ya. (2025). Modernizaciya klasifikaciyi citohromiv R-450 na osnovi strukturno-funktsionalnogo pidhodu. [Modernization of the classification of cytochromes P-450 based on the structure-function approach]. *Medichna ta klinichna himiya [Medical and clinical chemistry]*, 2, 5–17. <https://doi.org/10.11603/mcch.2410-681X.2025.i2.15520> [in Ukrainian].

Grigor'yeva, N.P. (2023). Vpliv tetrahlorometanovoyi intoksikaciyi na aktivnist antioksidantnih fermentiv u nirkah shuriv za umov zminenogo fotoperiodu (avtoreferat / disertaciya) [The effect of carbon tetrachloride intoxication on the activity of antioxidant enzymes in the kidneys of rats under conditions of altered photoperiod]. Chernivci: Bukovinskij derzhavnij medichnij universitet; DSpace BDMU. [Electronic resource] URL: <https://dspace.bsmu.edu.ua/handle/123456789/20933> (access date 10.08.2025) [in Ukrainian].

Dmuhalska, Ye.B. (2021). Vikovi osoblivosti zmin pokaznikiv endogennoyi intoksikaciyi i stan membran za diyi vazhkih metaliv ta glifosatu [Age-related changes in endogenous intoxication indicators and the state of membranes under the influence of heavy metals and glyphosate] *Med. ta klinich. himiya*. [in Ukrainian]. *[Medical and clinical chemistry]*, 4, 22–29. <https://doi.org/10.11603/mcch.2410-681X.2021.i4.12729> [in Ukrainian].

Protsailo, O.M., Hnatiuk, M.S., & Tatarchuk, L.V. (2022). Morfometrychne vyvchennia osoblyvostei remodeliuvannia struktur tovtstoi kyshky v umovakh postrezektsiinoi portalnoi hipertenzii [Morphometric study of the features of remodeling of colon structures in conditions of post-resection portal hypertension]. *Zdobutky klinichnoi ta eksperymentalnoi medytsyny [Achievements of clinical and experimental medicine]*, 3, 78–82. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2022.v.i3.13292> [in Ukrainian].

Tatarchuk, L.V. (2018). Kilkisna morfolohichna otsinka strukturnoi perebudovy arterii porozhnoi kyshky pry postrezektsiinii portalnii hipertenzii [Quantitative morphological assessment of structural rearrangement of jejunal arteries in post-resection portal hypertension]. *Visnyk naukovykh doslidzhen*

[*Bulletin of Scientific Research.*], 1, 136–140. <https://doi.org/10.11603/2415-8798.2018.1.8757> [in Ukrainian].

Tupol, L.D. (2015). Strukturni ta morfometrychni zminy pechinky pry eksperymentalnoi termichnii travmi [Strukturni ta morfometrychni zminy pechinky pry eksperymentalnoi termichnii travmi]. *Visnyk naukovykh doslidzhen TDMU [Summary of scientific research TDMU]*, 1, 114–115. <https://doi.org/10.11603/2415-8798.2015.1.4600> [in Ukrainian].

Frank, D., Ofir, R., & Zolotarov, L. (2020). Inducing acute liver injury in rats via carbon tetrachloride (CCl₄) exposure through an orogastric tube. *Journal of Visualized Experiments*, 159, 580–582. <https://doi.org/10.3791/60695> [in English].

Reunamo, A., Hannula, M., Virta, J., Kurppa, K., Lindfors, K., & Hyttinen, J. (2025). X-ray microtomography imaging enables accurate visualization and quantification of the small-intestinal villi microvasculature: – celiac disease as a model. *Microvascular Research*, 158, 350–358. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2025.104782> [in English].

Whitmarsh, T., Cope, W., Carmona-Bozo, J., Manavaki, R., Sammut, S-J., Woitek, R., Provenzano, E., Brown, E.L., Bohndiek, S.E., Gallagher, F.A., Caldas, C., Gilbert, F.J., & Markowitz, F. (2025). Quantifying the tumour vasculature environment from CD-31 immunohistochemistry images of breast cancer using deep learning based semantic segmentation. *Breast Cancer Research*, 27(1), 17–24. <https://doi.org/10.1186/s13058-024-01950-2> [in English].

Xiang, H., Liu, Z., Xiang, H., Xiang, D., Xiao, S., Xiao, J., Shen, W., Hu, P., Ren, H., & Peng, M. (2022). Dynamics of the gut–liver axis in rats with varying fibrosis severity. *International Journal of Biological Sciences*, 18 (8), 3390–3404. <https://doi.org/10.7150/ijbs.69833> [in English].

Отримано: 28.10.2025

Прийнято: 19.12.2025

Опубліковано: 30.12.2025

