

©М. Ю. Крицак <https://orcid.org/0000-0003-1020-3584>

©Т. К. Головата <https://orcid.org/0000-0001-9989-6510>

*Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України,  
Тернопіль, Україна*

## **ПЕРЕБУДОВА СУХОЖИЛКОВОЇ ЧАСТИНИ ДІАФРАГМИ ПІД ВПЛИВОМ ПНЕВМОПЕРИТОНЕУМУ РІЗНОЇ ТРИВАЛОСТІ, СТВОРЕНОГО ВУГЛЕКИСЛИМ ГАЗОМ**

**РЕЗЮМЕ.** Екскурсія діафрагми може бути порушена під час лапароскопічних операцій, включаючи операції на верхніх відділах черевної порожнини, такі як холецистектомія та операції на органах малого таза, що вимагають положення Тренделенбурга. Різке підвищення внутрішньочеревного тиску може розтягнути і зробити діафрагму жорсткішою.

**Мета роботи** – визначити вплив пневмоперитонеуму вуглекислим газом на морфологію сухожилкової частини діафрагми щура за умови різного проміжку часу.

**Матеріал і методи.** В процесі експерименту щурів поділили на 5 груп по 10 особин у кожній: I група – інтактні тварини, яким не моделювали жодної патології, отримані дані використовувалась як показник норми гістологічної картини; II група – створений ПП протягом 1 години, рівень тиску 10 мм рт. ст.; III група – створений ПП протягом 3 годин, рівень тиску 10 мм рт. ст.; IV група – створений ПП протягом 5 годин, рівень тиску 10 мм рт. ст. і V група – створений ПП протягом 5 годин, рівень тиску 10 мм рт. ст., проте забір матеріалу для дослідження проводився через 14 днів.

**Результати.** Через 1 годину після пневмоперитонеуму відмічались фрагментування колагенових волокон та макрофагально-лімфоцитарна інфільтрація та набряк. Через 3 години спостерігалась втрата компактності, порушення поздовжнього розташування колагенових волокон, що зумовлено їх деформацією, фрагментацією і частковим лізисом. Через 5 годин ділянка ураження розширювалася, відмічались множинні осередки деструкції, інфільтровані лімфоцитами та макрофагами, які межували із набряком основної речовини.

**Висновки.** Виявлено, що сухожилкова частина діафрагми зазнає змін під впливом пневмоперитонеуму, створеного вуглекислим газом. Ці зміни залежать від тривалості внутрішньочеревного тиску.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** пневмоперитонеум; вуглекислий газ; діафрагма; щури; морфологія.

**Вступ.** Від першої лапароскопічної холецистектомії, що була виконана Mouret в 1987 р., ендоскопічні втручання в абдомінальній хірургії ввійшли до рутинної практики й на сьогодні є золотим стандартом при хірургічному лікуванні більшості патологій черевної порожнини. Карбоксиперитонеум при лапароскопії є загальноприйнятним, іритация діоксидом вуглецю діафрагмального нерва викликає потужний больовий плечолопатковий синдром, що потребує застосування загального знеболювання [1–3]. Вплив на організм людини відбувається за допомогою двох різних механізмів: механічних ефектів, пов'язаних із підвищенням внутрішньочеревного тиску; хімічних ефектів CO<sub>2</sub>, що використовується для інсуфляції [3].

Пневмоперитонеум (ПП) створює підвищений тиск на діафрагму, порушує венозне повернення крові та може створити інші неприємні ситуації. Карбоперитонеум зумовлює підвищення внутрішньочеревного тиску з подальшим підняттям діафрагми [4, 5]. Це призводить до колапсу базальної легеневої тканини, що в кінцевому підсумку спричиняє зниження функціональної залишкової ємності, невідповідність коефіцієнта

вентиляції, збільшення внутрішньолегенового шунтування крові, призводить до гіпоксемії та збільшення альвеолярного артеріального градієнта кисню [6]. Ці функціональні порушення можна частково компенсувати за рахунок збільшення частоти механічної вентиляції легень, позитивного тиску в кінці видиху, а також збільшення частки вдихуваного кисню під час лапароскопічної хірургії. Різні дослідження підтверджують, що 7 мм рт. ст. слід вважати необхідним під час лапароскопічних операцій для зменшення можливого інтраопераційного ателектазу, спричиненого ПП. Це збільшує залишкову ємність легень, тим самим покращуючи газообмін та оксигенацію [6, 7].

Близько 25 % хворих, які перенесли лапароскопічну операцію, затримуються у лікарні через омальгію – синдром плечового болю. Частота виникнення даного синдрому часто не залежить від тяжкості патології та тривалості втручання, і тому не піддається прогнозуванню. Зазвичай припускають, що біль у плечі пов'язаний з перерозтягуванням м'язових волокон діафрагми через високий тиск вуглекислого газу. Лапароскопічна холецистектомія низького тиску значно зменшує частоту та інтенсивність післяопераційного болю

в надпліччі. Лапароскопія при зниженому тиску зменшує потребу у післяопераційній аналгезії, зменшує тривалість стаціонарного лікування і, отже, покращує якість життя на ранніх стадіях післяопераційної реабілітації [8, 9]. Біль у надпліччі при лапароскопії трапляється у більшій чи меншій мірі доволі закономірно від 35 % до 80 % і практично не виникає після лапаротомії [2, 9]. Інтенсивність болю іноді досить значна і може тривати приблизно 3 дні [8, 9]. Зрідка тривалість цього синдрому є більшою, а інтенсивність іноді викликає більший дискомфорт у пацієнта, ніж біль у ділянках розрізів. Цей синдром вносить значну частку незадовільного самопочуття пацієнтів і збільшує потребу в знеболювальних препаратах після операції. Повідомляють, що це одна з найпоширеніших причин затримки виписування після лапароскопії [2, 9].

Екскурсія діафрагми може бути порушена під час лапароскопічних операцій, включаючи операції на верхніх відділах черевної порожнини, таких як холецистектомія та операції на органах малого таза, що вимагають положення Тренделенбурга. Різке підвищення внутрішньочеревного тиску може розтягнути і зробити діафрагму жорсткішою. Це обмеження екскурсії може не повернутися до вихідних значень навіть після звільнення ПП [10, 11]. У положенні лежачи рухи діафрагми поблизу залежних відділів легені значно обмежені. Наркоз додатково зменшує об'єм легень на 0,4–0,5 л за рахунок розслаблення міжреберних м'язів і діафрагми, що ще більше зміщує діафрагму вгору. Попередні дослідження показали, що порушення функції діафрагми після лапароскопічних операцій є визначальним фактором у патогенезі післяопераційної легеневої дисфункції [6, 10].

Актуальним на сьогодні є вивчення впливу вуглекислого газу під тиском на діафрагму, а саме того, як змінюється цей орган. Ураховуючи краніальний зсув діафрагми ми припускаємо, що це може мати значний вплив на гістологічні характеристики цього органа. Як сказано вище, діафрагма перерозтягується при лапароскопії, а як змінюється морфоструктура достеменно не вивчено і залишається одним з головних питань сьогодення.

**Мета роботи** – визначити вплив пневмоперитонеуму вуглекислим газом на морфологію сухожилкової частини діафрагми щура за умови різного проміжку часу.

**Матеріал і методи дослідження.** Експериментальне дослідження проведене на статевозрілих щурах віком 6 місяців та масою тіла  $225 \pm 20,0$  г у кількості 50 особин. Усіх тварин утримували у віварії Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського Міністерства охорони здоров'я України. В процесі

експерименту щурів поділено на 5 груп по 10 особин у кожній наступним чином: I група – інтактна група, яким не моделювалась жодна патологія, отримані дані використовувались як показник норми гістологічної картини; II група – створений ПП протягом 1 години, рівень тиску 10 мм рт. ст.; III група – створений ПП протягом 3 годин, рівень тиску 10 мм рт. ст.; IV група – створений ПП протягом 5 годин, рівень тиску 10 мм рт. ст. і V група – створений ПП протягом 5 годин, рівень тиску 10 мм рт. ст., проте забір матеріалу для дослідження проводився через 14 днів.

Тварин II–V груп перед моделюванням ПП вуглекислим газом вводили в анестезію, з метою премедикації використовували Ксилазин (10 мг/кг), основним компонентом наркозу був розчин Кетаміну (90 мг/кг). Препарати вводили внутрішньом'язово. У всіх цих групах проводили створення карбоксиперитонеуму на рівні 10 мм рт. ст., згідно авторського свідоцтва на твір № 126409 від 16 травня 2024 року [12], інсуфлятором KARL STORZ electronic laparoflator 264300 20. На інсуфляторі встановлювали відповідний рівень тиску в черевній порожнині та швидкість подачі вуглекислого газу на рівні 0,1 л/хв, протягом 1, 3 та 5 годин відповідно до номера групи. При аналізі літератури встановлено, що рівень тиску в 10 мм рт. ст. у щурів відповідає тиску 15 мм рт. ст. у людей, такий показник вважається стандартним, адже використовується у лапароскопії найчастіше. Усі маніпуляції з тваринами проводили в першій половині дня в приміщенні при температурі 18–20 °C і відносній вологості 60–80 %. Евтаназію тварин здійснювали за допомогою внутрішньочеревинної ін'єкції високих доз препарату, а саме – Тіопенталу натрію з розрахунку 75 мг/кг маси тіла.

Після проведеного експерименту проводили забір діафрагми щура відповідно до авторського свідоцтва на твір № 126059 від 29 квітня 2024 року [13]. Макропрепарат діафрагми зображений на рисунку 1.

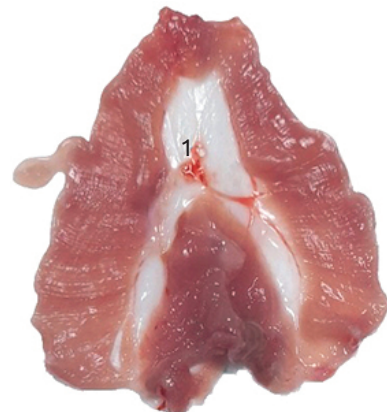


Рис. 1. Видалений макропрепарат діафрагми: 1 – сухожилкова частина діафрагми.

При проведенні роботи над експериментальними тваринами дотримувались положень Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження», Європейської конвенції щодо захисту хребетних тварин, яких використовують в експериментальних та інших наукових цілях, від 18.03.1986 р., Директиви Ради Європи 2010/63/EU.

Сухожилкову частину діафрагми після виділення поміщали у 10 % розчин нейтрального формаліну. Після фіксації гістологічний матеріал зневоднювали в етилових спиртах зростаючої концентрації та заливали у парафін. З кожного парафінового блоку на мікротомі виготовляли гістологічні зрізи товщиною 5–7 мкм, які після депарафінізації фарбували гематоксиліном і еозином та альціановим синім.

**Результати й обговорення.** Сухожилкова частина діафрагми інтактних щурів представлена переважно щільними пучками колагенових волокон, які формують апоневротичний листок. Товщина його незначно варіює в різних зрізах. Як і м'язова частина, з боку грудної порожнини сполучна тканина вкрита діафрагмальною фасцією. Мікроскопічно вона має пухку консистенцію і містить жирову клітковину. Знизу – тонкий листок парієтальної очеревини. Колагенові волокна гомогенно еозинофільні з незначними змінами інтенсивності забарвлення, нерідко розрихлюються без втрати їхньої цілісності. Клітинний компонент бідний і складається з фібробластів, фіброцитів та гістіоцитів (рис. 2).

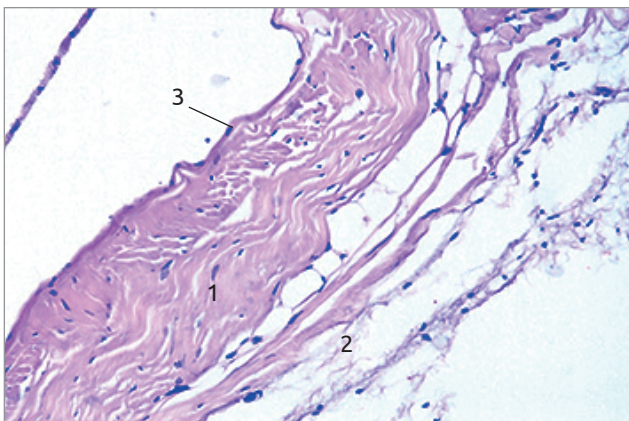


Рис. 2. Гістологічна структура сухожилкової частини діафрагми щура інтактною групи: 1 – щільні пучки колагенових волокон; 2 – пухка клітковина грудної порожнини; 3 – парієтальна очеревина. Забарвлення гематоксиліном і еозином.  $\times 200$ .

Колагенові волокна становлять основу сполучної тканини організму і забезпечують її міцність і еластичність. Колаген, який природним чином міститься у тканинах організму, склеює все разом. Він активно впливає на роботу і герметичність кишечника, еластичність шкіри, здоров'я нігтів і міцність суглобів, у тому числі й на сухо-

жилкову частину діафрагми. Існують описані у літературі поодинокі випадки спонтанного пневмотораксу під час виконання лапароскопічних оперативних втручань під впливом пневмоперитонеуму стандартним тиском, а саме 15 мм рт. ст. [14].

Сухожилкова частина діафрагми зазнавала змін під впливом пневмоперитонеуму, утвореного вуглекислим газом. Відмічалось фрагментування колагенових волокон, у відповідь виникала макрофагально-лімфоцитарна інфільтрація. Розволокнення і набряк створювали враження потовщення сухожилків (рис. 3).

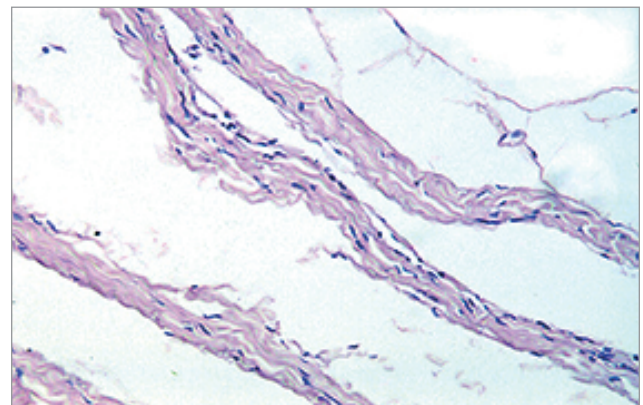


Рис. 3. Гістологічний зріз сухожилка діафрагми щура через 1 год. Розшарування сухожилка, фрагментація колагенових волокон. Забарвлення гематоксиліном і еозином.  $\times 200$ .

Через 3 години після пневмоперитонеуму з внутрішньоабдомінальним тиском 10 мм рт. ст. сухожилкова тканина втрачає свою компактність, поздовжнє паралельне розташування колагенових волокон порушене, що зумовлено їх деформацією, фрагментацією і частковим лізисом. У ділянках розпаду волокон визначається інтенсивна макрофагально-лімфоцитарна інфільтрація з домішком нейтрофілів (рис. 4).

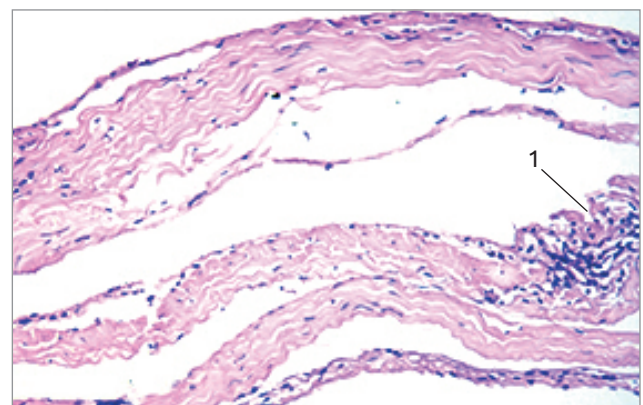


Рис. 4. Гістологічна картина сухожилкової частини діафрагми щура через 3 години після пневмоперитонеуму: 1 – інтенсивна клітинна інфільтрація в ділянці розпаду колагенових волокон. Забарвлення гематоксиліном і еозином.  $\times 200$ .

Через 5 годин у цій частині діафрагми нами відмічено, що зона ураження розширювалася, відмічались множинні осередки деструкції, інфільтровані лімфоцитами та макрофагами, які межували із набряком основної речовини (рис. 5).

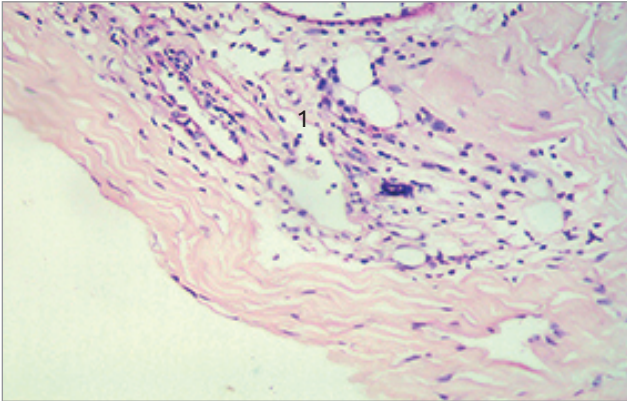


Рис. 5. Морфоструктура сухожилкової частини діафрагми щура через 5 годин пневмоперитонеуму: 1 – набряк та клітина інфільтрація. Забарвлення гематоксиліном і еозином.  $\times 200$ .

При цьому забарвлення альціановим синім не виявило ознак системної дезорганізації колагенових волокон, зокрема мукоїдного набухання, що виключало наявність аутоімунного фактора в даному випадку (рис. 6).

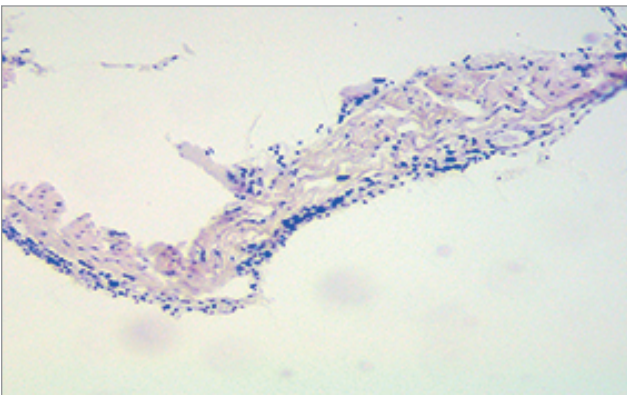


Рис. 6. Морфоструктура сухожилкової частини діафрагми щура через 5 годин пневмоперитонеуму. Забарвлення альціановим синім.  $\times 100$ .

При аналізі гістологічної картини препаратів, отриманих через 14 днів після перенесеного 5-годинного пневмоперитонеуму з інтраабдомінальним тиском 10 мм рт. ст., в сухожилках виявлена неоднорідна картина – поряд із впорядкованим компактним розташуванням колагенових волокон виявлялися ділянки їх розрихлення та фрагментації. Серед фібробластів присутні гістіоцити і лімфоцити (рис. 7).

Аналіз результатів дозволив зробити висновок про неповне структурне відновлення сухожилкової частини діафрагми дослідних тварин у вигляді

ді втрати компактності колагенових волокон, інколи у препаратах виявлялись ділянки клітинної інфільтрації. Ми припускаємо, що на пізніших тер-

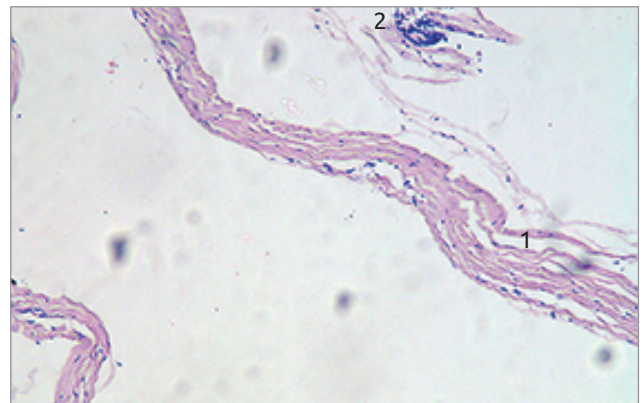


Рис. 7. Гістологія сухожилкової частини діафрагми щура через 14 днів: 1 – часткова втрата компактності колагенових волокон; 2 – осередки клітинної інфільтрації. Забарвлення гематоксиліном і еозином.  $\times 100$ .

мінах ця частина відновить свої характерні властивості, але будуть спостерігатись ділянки замісного фіброзу, що констатуватиме залишкові зміни.

**Висновки.** Нами виявлено, що сухожилкова частина діафрагми зазнає змін під впливом пневмоперитонеуму, створеного вуглекислим газом. Ці зміни залежать від тривалості внутрішньочеревного тиску. Найбільші зміни спостерігаються після 5-годинного пневмоперитонеуму, а саме: ділянка ураження розширювалася; спостерігались осередки деструкції, інфільтровані лімфоцитами та макрофагами; набряк основної речовини. На 14 добу структура сухожилка відновлювалась майже повністю, спостерігались окремі залишкові зміни у вигляді замісного фіброзу.

**Перспективи подальших досліджень.** Вивчення впливу на організм людини пневмоперитонеуму, створеного вуглекислою, є актуальним і недостатньо вивченим питанням лапароскопічної хірургії. На особливу увагу заслуговує діафрагма, яка, як ми бачимо, зазнає змін. Подальші наші дослідження будуть зосереджені на тому, як впливає різний внутрішньочеревний тиск протягом певного часу на цей дихальний м'яз.

**Джерела фінансування.** Власні кошти авторів.

**Внесок авторів:**

М. Ю. Крицак – розробка ідеї та дизайну дослідження, проведення огляду літератури та написання тексту;

Т. К. Головата – формування концепції дослідження, виконання аналізу та обговорення результатів.

**Конфлікт інтересів.** Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бишовець С. М. Пневмоперитонеум для лапароскопії під регіонарною анестезією: закис азоту vs діоксид вуглецю. *Медицина невідкладних станів*. 2018. №2(89). С. 92-97. DOI: 10.22141/2224-0586.2.89.2018.126609.
2. Barazanchi A., MacFater W., Rahiri J. Evidence based management of pain after laparoscopic cholecystectomy: a prospect review update. *Br J Anaesth*. 2018. № 121(4). P. 787-803 DOI: 10.1016/j.bja.2018.06.023.
3. Білянський Л. С., АбуШамсія Р. Н. Лапароскопічні втручання в ургентній абдомінальній хірургії. *Клінічна хірургія*. 2016. №8(892). С. 3-4.
4. Buzkova K., Muller M., Rara A., Roubik K. Ultrasound detection of diaphragm position in the region for lung monitoring by electrical impedance tomography during laparoscopy. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub*. 2018. №162(1). P. 43-46. DOI: 10.5507/bp.2018.005.
5. Rustagi P. S., Yadav A., Sandeep S. Ultrasonographic evaluation of diaphragmatic excursion changes after major laparoscopic surgeries in the Trendelenburg position under general anaesthesia: A prospective observational study. *Nellore Indian J Anaesth*. 2023. №67(4). P. 274-280. DOI: 10.4103/ija.ija\_643\_23.
6. Xu Q., Guo X., Liu J. Effects of dynamic individualized PEEP guided by driving pressure in laparoscopic surgery on postoperative atelectasis in elderly patients: a prospective randomized controlled trial. *BMC Anesthesiol*. 2022. №22(1). P. 65-72. DOI: 10.1186/s12871-022-01613-9.
7. Кравченко Б. С. Однопортова холецистектомія у хворих на хронічний калькульозний холецистит. Показання, технічні аспекти, прогнозування та профілактика ускладнень: автореф. дис. док. філос.: 14.01.03. Запоріжжя, 2020. 42 с.
8. Xu F., Xiao L., Zuo J. Shoulder pain after abdominal laparoscopic operation: a multicenter study. *Chin Med J (Engl)*. 2013. №126(2). P. 382-384. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0366-6999.20121246.
9. Yasir M., Mehta K., Banday V. Evaluation of post operative shoulder tip pain in low pressure versus standard pressure pneumoperitoneum during laparoscopic cholecystectomy. *Surgeon*. 2012. No. 10(2). P. 71-74. DOI: 10.1016/j.surge.2011.02.003.
10. Zhang M., Yu Y., Qiu C., Xia X. Effect of Individualized PEEP Guided by Driving Pressure on Diaphragm Function in Patients Undergoing Laparoscopic Radical Resection of Colorectal Cancer: A Randomized Controlled Trial. *Med Sci Monit*. 2024. No. 20. P. 120-127. DOI: 10.12659/MSM.944022.
11. Srivastava A., Niranjana A. Secrets of safe laparoscopic surgery: Anaesthetic and surgical considerations. *Journal of Minimal Access Surgery*. 2010. No. 6 (4). P. 91-94.
12. Спосіб моделювання експериментального карбоксиперитонеуму у щура: Свідчення про реєстрацію авторського права на твір № 126409; опубл. 16.05.2024. 3 с.
13. Спосіб відбору експериментального матеріалу діафрагми білих щурів: свідчення про реєстрацію авторського права на твір № 126059; опубл. 29.04.2024. 3 с.
14. Mamić I., Danolić D., Puljiz M. Pneumothorax and Pneumomediastinum as a Rare Complication of Laparoscopic Surgery. *Acta Clin Croat*. 2016. No55(3). P. 501-504. DOI: 10.20471/acc.2016.55.03.22.

REFERENCES

1. Byshovets' SM. Pnevmoperytoneum dlya laparoskopiyi pid rehionarnoyu anesteziyeyu: zakys azotu vs dioksyd vuhletsyu [Pneumoperitoneum for laparoscopy under regional anesthesia: nitrous oxide vs carbon dioxide]. *Emergency Medicine*. 2018; 2(89):92-97. DOI: 10.22141/2224-0586.2.89.2018.126609. Ukrainian.
2. Barazanchi AWH, MacFater WS, Rahiri JL, Tutone S, Hill AG, Joshi GP; PROSPECT collaboration. Evidence-based management of pain after laparoscopic cholecystectomy: a PROSPECT review update. *Br J Anaesth*. 2018; 121(4):787-803. DOI: 10.1016/j.bja.2018.06.023.
3. Bilyans'kyu LS, Abu Shamsiya RN. Laparoskopichni vtruchannya v urhentniy abdominal'niy khirurhiyi [Laparoscopic interventions in urgent abdominal surgery]. *Klinichna khirurhiya*. 2016; 8(892):3-4.
4. Buzkova K, Muller M, Rara A, Roubik K, Tyll T. Ultrasound detection of diaphragm position in the region for lung monitoring by electrical impedance tomography during laparoscopy. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub*. 2018; 162(1):43-46. DOI: 10.5507/bp.2018.005.
5. Rustagi PS, Yadav A, Nellore SS. Ultrasonographic evaluation of diaphragmatic excursion changes after major laparoscopic surgeries in the Trendelenburg position under general anaesthesia: A prospective observational study. *Indian J Anaesth*. 2023; 67(Suppl 4):S274-S280. DOI: 10.4103/ija.ija\_643\_23.
6. Xu Q, Guo X, Liu J, Li SX, Ma HR, Wang FX, Lin JY. Effects of dynamic individualized PEEP guided by driving pressure in laparoscopic surgery on postoperative atelectasis in elderly patients: a prospective randomized controlled trial. *BMC Anesthesiol*. 2022; 22(1):72. DOI: 10.1186/s12871-022-01613-9.
7. Kravchenko B.S. Odnoportova kholetsystektomiya u khvorykh na khronichnyy kal'kul'oznyy kholetsystyt. Pokazannya, tekhnichni aspekty, prohnozuvannya ta profylaktyka uskladnen'. avtoref. dys. [Single-port cholecystectomy in patients with chronic calculous cholecystitis. Indications, technical aspects, prognosis and prevention of complications [author's abstract of dissertation]]. *Zaporizhzhya: Zaporiz. nats. med. u-t; 2020. 42 s.*
8. Xu FF, Xiao LB, Zuo JD, Tan JF, Deng L, Deng Y, Zhou J, Tan M. Shoulder pain after abdominal laparoscopic operation: a multicenter study. *Chin Med J (Engl)*. 2013; 126(2):382-4.
9. Yasir M, Mehta KS, Banday VH, Aiman A, Masood I, Iqbal B. Evaluation of post operative shoulder tip pain in low pressure versus standard pressure pneumoperitoneum

Огляди літератури, **оригінальні дослідження**, погляд на проблему, випадок з практики, короткі повідомлення

during laparoscopic cholecystectomy. *Surgeon*. 2012; 10(2):71-4. DOI: 10.1016/j.surge.2011.02.003.

10. Zhang M, Yu Y, Qiu C, Xia X, Sun Y, Wang L, Ma G, Gao X. Effect of Individualized PEEP Guided by Driving Pressure on Diaphragm Function in Patients Undergoing Laparoscopic Radical Resection of Colorectal Cancer: A Randomized Controlled Trial. *Med Sci Monit*. 2024; 30:e944022. DOI: 10.12659/MSM.944022.

11. Srivastava A, Niranjana A. Secrets of safe laparoscopic surgery: Anaesthetic and surgical considerations. *J Minim Access Surg*. 2010; 6(4):91-4. DOI: 10.4103/0972-9941.72593.

12. Kritsак MYU, Rosolovs'ka SO, Levchuk OI. Sposib modelyuvannya eksperymental'noho karboksypertyoneumu u shchura. Svidotstvo pro reyestratsiyu avtors'koho

prava na tvir № 126409 [Method of modeling experimental carboxyperitoneum in rats. Certificate of copyright registration for the work No. 126409]. 2024 May 16.

13. Kritsак MYU, Slabyy OB, Yasinovs'kyi OB. Sposib vidboru eksperymental'noho materialu diafrahmy bilykh shchuriv. Svidotstvo pro reyestratsiyu avtors'koho prava na tvir № 126059. [Method of selecting experimental material from the diaphragm of white rats. Certificate of registration of copyright for the work No. 126059]. 2024 April 29.

14. Mamić I, Danolić D, Puljiz M, Kasum M, Alvir I, Kostić L, Milas I, Šoštar A, Pedišić I, Bečejac T. Pneumothorax and Pneumomediastinum as a Rare Complication of Laparoscopic Surgery. *Acta Clin Croat*. 2016; 55(3):501-504. DOI: 10.20471/acc.2016.55.03.22.

**M. Yu. Kritsак, T. K. Holovata**

*Ivan Horbachevsky Ternopil National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine, Ternopil, Ukraine*

## **RESTRUCTURING OF THE TENDONIAL PART OF THE DIAPHRAGM UNDER THE INFLUENCE OF PNEUMOPERITONEUM OF VARIOUS DURATION CREATED BY CARBON DIOXIDE**

**SUMMARY.** Diaphragmatic excursion may be impaired during laparoscopic surgery, including upper abdominal surgery such as cholecystectomy and pelvic surgery requiring Trendelenburg position. A sharp increase in intra-abdominal pressure can stretch and stiffen the diaphragm.

**The aim** – to determine the effect of carbon dioxide pneumoperitoneum (PP) on the morphology of the tendon part of the rat diaphragm at different time intervals.

**Material and Methods.** During the experiment, rats were divided into 5 groups of 10 individuals each as follows: Group I – intact group, which did not have any pathology, the data obtained were used as an indicator of the normal histological picture; Group II – PP for 1 hour, pressure level 10 mmHg; Group III – PP for 3 hours, pressure level 10 mmHg; Group IV – PP for 5 hours, pressure level 10 mmHg; and group V – PP for 5 hours, pressure level 10 mmHg; however, the material for the study was taken after 14 days.

**Results.** After 1 hour after pneumoperitoneum, fragmentation of collagen fibers and macrophage-lymphocyte infiltration and edema were noted. After 3 hours, loss of compactness, violation of the longitudinal arrangement of collagen fibers was observed, which is due to their deformation, fragmentation and partial lysis. After 5 hours, the lesion area expanded, multiple foci of destruction infiltrated by lymphocytes and macrophages were noted, which bordered on edema of the ground substance.

**Conclusions.** We found that the tendon part of the diaphragm undergoes changes under the influence of pneumoperitoneum created by carbon dioxide. These changes depend on the duration of intra-abdominal pressure.

**KEY WORDS:** pneumoperitoneum; carbon dioxide; diaphragm; rats; morphology.

Отримано 22.02.2025

Електронна адреса для листування: [golovata@tdmu.edu.ua](mailto:golovata@tdmu.edu.ua)