

М.Ю. Крицак
О.Б. Слабий
Т.К. Головата
О.Б. Ясіновський

Тернопільський національ-
ний медичний університет
імені І.Я. Горбачевського
МОЗ України
Тернопіль, Україна

Надійшла: 22.04.2025

Прийнята: 12.06.2025

DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.2.23-28>

УДК 616.381-003.219:616.136.1-091.8

ВПЛИВ ПНЕВМОПЕРИТОНЕУМУ НА МОРФОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ АР- ТЕРІЙ ДРІБНОГО КАЛІБРУ ДІАФРА- ГМИ: ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ РАНДО- МІЗОВАНЕ КОНТРОЛЬОВАНЕ ДОСЛІ- ДЖЕННЯ

Kritsak M.Yu. , Slabyi O.B. , Golovata T.K. , Yasinovskiy O.B.  The effect of pneumoperitoneum on morphometric parameters of small-caliber diaphragmatic arteries: an experimental randomized controlled study. I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ternopil, Ukraine.

ABSTRACT. Background. During laparoscopy, systemic and pulmonary vascular resistance increase, central venous pressure is elevated, and peritoneal structures are subjected to ischemia-reperfusion injury. Understanding the patient's microvascular status is clinically important, as impaired microcirculation is associated with poorer perioperative outcome of elective major surgery. **The objective** of the work was to study the morphometric parameters of small-caliber diaphragmatic arteries under the influence of standard pressure pneumoperitoneum of different durations. **Methods.** 55 animals were divided into 4 groups, control and 3 experimental groups depending on the duration of pneumoperitoneum, 1, 3 and 5 hours, according to the group number. The costal and lumbar parts of the diaphragm were selected separately, followed by the study of morphometric indicators of small-caliber arteries, which were subjected to statistical processing. **Results.** During the study, an increase in the external diameter of the vessel and a decrease in the internal diameter were detected, which led to a decrease in the permeability of the arteries. These changes led to an increase in the Vogenworth index. The media thickness index increased statistically significantly. The height of endothelial cells in the I and II experimental groups decreased statistically insignificantly, except for the III experimental group where the Student criterion was less than 0.01. The diameter of the endothelial cell nuclei showed a decrease in the I and II groups, but was greater in the III experimental group ($p < 0.05$). The relative volume of damaged endothelial cells increased significantly ($p < 0.001$) with an increase in the duration of pneumoperitoneum, especially in the II and III experimental groups. **Conclusion.** Progressive reduction of the lumen of small-caliber vessels due to an increase in the outer diameter and a decrease in the inner diameter significantly worsens the blood supply to the costal and lumbar parts of the diaphragm, which indicates a deterioration in their physiological capacity under given conditions. The manifestations of endothelial dysfunction are deepened due to a decrease in the height of endothelial cells and a sharp increase in the relative volume of damaged endothelial cells.

Key words: experiment, rats, pneumoperitoneum, diaphragm, morphology, morphometry.

Kritsak MYu, Slabyi OB, Golovata TK, Yasinovskiy OB. [The effect of pneumoperitoneum on morphometric parameters of small-caliber diaphragmatic arteries: an experimental randomized controlled study]. Morphologia. 2025;19(2):23-8. Ukrainian.

DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2025.2.23-28>

 Kritsak M.Yu. 0000-0003-1020-3584;  Slabyi O.B. 0000-0001-5645-7905;
 Golovata T.K. 0000-0001-9989-6510 ; Yasinovskiy O.B. 0000-0002-5121-3140
✉ kricakmy@gmail.com
© Dnipro State Medical University, «Morphologia»

Вступ

Лапароскопічна хірургія з інсуфляцією вуглекислого газу є широко використовуваною методикою. Вона має багато переваг порівняно з відкритою хірургією, включаючи швидше одужання пацієнтів та меншу кількість ускладнень. Однак через гіперкарбію, підвищений тиск у черевній порожнині та пов'язані з ними нейроендокринні реакції пацієнти піддаються кільком негативним

серцево-судинним ефектам [1]. Системний та легеневий судинний опір збільшуються, серцевий індекс та венозний кровотік у ногах знижуються, а також спостерігається підвищення центрального венозного тиску [1, 2, 3]. Що ще важливіше, перитонеальні структури зазнають ішемічно-реперфузійної травми.

Окрім зниження тиску в черевній порожнині,

для боротьби з цими небажаними гемодинамічними ефектами можна використовувати різноманітні заходи. Найчастіше анестезіологи збільшують дози анестетиків та опіоїдів [4]. Також комбінована спінально-загальна анестезія, яка все частіше використовується в програмах прискореного відновлення після операції [5, 6], зменшує потребу у внутрішньовенних опіоїдах та анестетиках і забезпечує чудову гемодинамічну стабільність під час лапароскопічної хірургії [7].

Тим не менш, нормальні значення рутинно контрольованих макрогомодинамічних параметрів (наприклад, артеріальний тиск, частота серцевих скорочень, серцевий індекс) не гарантують адекватної регіональної доставки кисню, а клітинна гіпоксія може залишитися нерозпізнаною [8]. Розуміння стану мікросудин пацієнта є клінічно важливим, оскільки порушення мікроциркуляції пов'язане з гіршим періопераційним результатом планової великої операції [7, 9].

Як побічний ефект, тиск у черевній порожнині змінює фізіологічну торако-абдомінальну конфігурацію та, що найважливіше, штовхає діафрагму та легені краніально, що підтверджується як доклінічними, так і клінічними [3, 6] дослідженнями. До сьогодні немає достатніх знань щодо змін положення легень або діафрагми більш конкретно під час лапароскопічної хірургії, особливо на мікроскопічному рівні. Попередні дослідження повідомляли, що порушення функції діафрагми після операції на черевній порожнині є

визначальним фактором патогенезу післяопераційної дисфункції легень [7, 8, 9].

Мета

Вивчити морфометричні показники артерій дрібного калібру діафрагми під впливом пневмоперитонеуму стандартного тиску різної тривалості.

Матеріали та методи

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. Для створення моделі експерименту використано статевозрілі щурі віком 6-7 місяців та масою ($235,0 \pm 15,0$) грам у кількості 55 тварин, яких утримували в умовах акредитованого віварію на базі Тернопільського національного медичного університету імені І.Я. Горбачевського МОЗ України. Розподіл тварин на групи представлено у таблиці 1. Експерименти проводилися в першій половині дня в приміщенні при відносній вологості (60-80) %, температурі (18-20)°C та освітленості 200 лк. Евтаназію тварин здійснювали шляхом передозування Thiopental sodium з розрахунку 75 мг/кг маси тіла тварини, внутрішньоочеревинно.

Таблиця 1

Розподіл щурів на групи

Група тварин	Характеристика групи
Контрольна група (n = 10)	Забір частин діафрагми без моделювання пневмоперитонеуму
I дослідна група (n = 15)	Забір частин діафрагми після пневмоперитонеуму на рівні 10 мм.рт.ст. протягом 1 години
II дослідна група (n = 15)	Забір частин діафрагми після пневмоперитонеуму на рівні 10 мм.рт.ст. протягом 3 годин
III дослідна група (n = 15)	Забір частин діафрагми після пневмоперитонеуму на рівні 10 мм.рт.ст. протягом 5 годин
Всього тварин – 55	

Перед моделюванням пневмоперитонеуму, всім тваринам дослідних груп проводили анестезію за допомогою розчину Кетаміну (90 мг/кг) і розчину Ксилазину (10 мг/кг), методом внутрішньом'язової ін'єкції. Проводили створення пневмоперитонеуму на рівні 10 мм.рт.ст, згідно авторського свідоцтва на твір № 126409 від 16 травня 2024 року [10], 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 дослідної групи (рис.1). Такий рівень тиску встановлювали, тому що, при аналізі літератури даний тиск у щура викликає такі ж

самі фізіологічні зміни, як і тиск на рівні 15 мм.рт.ст. у організмі людини, який вважається в лапароскопії як стандартний тиск. [11, 12]. Під час знечулення і створення пневмоперитонеуму зберігалось спонтанне дихання у тварини протягом експерименту.

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 2.

З діафрагми виділяли окремо реброву та поперекову частини, які поміщали у 10 % розчин нейтрального формаліну. Після фіксації відібраного матеріалу його 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, за Масоном, за Вейгертом.



Рис. 1. Створений карбоксиперитонеум на рівні 10 мм.рт.ст. (зліва – інсуфлятор, справа – експериментальна тварина із введеною голкою Вереша в черевну порожнину).

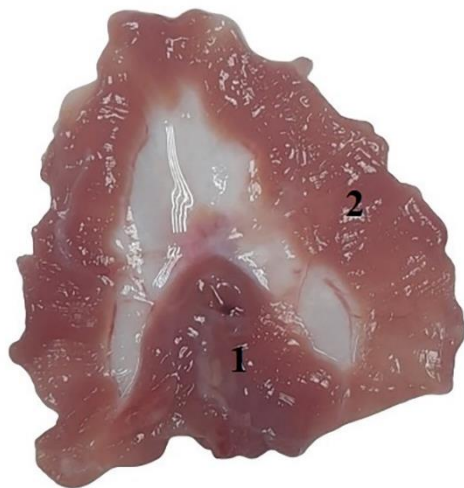


Рис. 2. Видалений макропрепарат діафрагми: 1 – поперекова частина діафрагми; 2 – реброва частина діафрагми.

Статистичній обробці піддавались наступні показники: зовнішній діаметр артеріальної су-

дини (ЗД); внутрішній діаметр артеріальної судини (ВД); індекс Вогенворта (ІВ); товщина медії (ТМ); висота ендотеліоцитів (ВЕ); діаметр ядер ендотеліоцитів (ДЯЕ); ядерно-цитоплазматичне відношення (ЯЦВ); відносний об'єм пошкоджених ендотеліоцитів (ВОПЕ).

Результати та їх обговорення

Вище описані показники, результати вимірювань параметрів артерій дрібного калібру частин діафрагми, представлено у таблиці 2.

Порівняльний аналіз морфометричних показників через 1 годину тривалості пневмоперитонеуму в порівнянні із контрольною групою виявив зміни. Зовнішній діаметр судин в заданих умовах збільшувався з $(34,45 \pm 0,14)$ мкм до $(35,21 \pm 0,25)$ мкм у ребровій частині діафрагми, що становило 2,2 % і з $(34,61 \pm 0,15)$ мкм до $(35,30 \pm 0,18)$ мкм тобто на 1,9 % більший. Внутрішній діаметр зменшувався з $(12,35 \pm 0,14)$ мкм до $(11,80 \pm 0,22)$ мкм тобто на 4,5 % у ребровій частині та з $(12,15 \pm 0,23)$ мкм до $(11,75 \pm 0,18)$ мкм у ніжках, що складало 3,3 %. Також на 5,1 % збільшувалася товщина медії у ребровій частині $(11,83 \pm 0,06)$ мкм проти $(11,25 \pm 0,28)$ мкм і на 5,2 % була товща в судинах поперекової частини діафрагми $(12,12 \pm 0,25)$ мкм проти $(11,51 \pm 0,27)$ мкм. Відповідно зростали значення індексу Вогенворта – у ребровій частині на 2,4 %, а у ніжках на 3,1 %.

Висота ендотеліоцитів за заданих експериментальних умов зменшувалася на 2,6 % як в ребровій частині $(5,63 \pm 0,06)$ мкм проти $(5,78 \pm 0,20)$ мкм, так і в ніжках діафрагми $(5,62 \pm 0,06)$ мкм проти $(5,77 \pm 0,24)$ мкм. Також зменшувався діаметр ядер ендотеліоцитів. У ребровій частині він становив $(3,04 \pm 0,01)$ мкм, що було на 3,0 % менше, а у ніжках – $(3,05 \pm 0,02)$ мкм, тобто менше на 1,6 %. Синхронне зменшення висоти ендотеліальних клітин і діаметру їхніх ядер зовсім не змінювало ядерно-цитоплазматичне відношення ендотеліоцитів. Так у ребровій частині діафрагми різниця становила 2,23 % $(0,269 \pm 0,028)$ до $(0,251 \pm 0,041)$, а у поперековій частині ці показники через 1 год. були ідентичними $(0,267 \pm 0,027)$ при ВЧТ 15 мм рт.ст. і $(0,266 \pm 0,039)$. Проте суттєво зростає відсоток пошкоджених ендотеліоцитів. У ребровій частині діафрагми різниця між показником становила 71,2 %, а в ніжках – 69,5 %.

Через 3 години тривалості пневмоперитонеуму у II дослідній групі ЗД продовжував збільшуватися порівняно з 1-годинним терміном на 4,19 % у ребровій частині і на 4,15 % в поперековій частині. ТМ зростала на 9,69 % ($p < 0,01$) у ребровому відділі і на 8,53 % ($p < 0,05$) - в ніжках. Відповідно з високою статистичною достовірністю ($p < 0,001$) збільшувався ІВ – з $(788,37 \pm 4,45)$ до $(893,56 \pm 17,28)$, що складало 11,77 % у ребровій частині діафрагми і з $(797,81 \pm 4,64)$ до $(897,17 \pm 19,53)$ у ніжках, тобто на 11,07 %.

Морфометрична характеристика артерій дрібного калібру груп тварин

Показник	Групи дослідження							
	Контрольна група		І дослідна група		ІІ дослідна група		ІІІ дослідна група	
	Реброва частина	Поперекова частина	Реброва частина	Поперекова частина	Реброва частина	Поперекова частина	Реброва частина	Поперекова частина
ЗД, мкм	34,45 ± 0,14	34,61 ± 0,15	35,21 ± 0,25	35,30 ± 0,18	36,75 ± 0,29	36,83 ± 0,33	37,70 ± 0,22***	37,78 ± 0,27***
ВД, мкм	12,35 ± 0,14	12,15 ± 0,23	11,80 ± 0,22	11,75 ± 0,18	10,25 ± 0,21***	10,16 ± 0,17***	10,03 ± 0,17***	9,85 ± 0,13***
ІВ, %	769,80 ± 1,22	774,50 ± 4,67	788,37 ± 4,45	797,81 ± 4,64	893,56 ± 17,28***	897,17 ± 19,53***	977,24 ± 25,73***	989,62 ± 25,84***
ТМ, мкм	11,25 ± 0,28	11,51 ± 0,27	11,83 ± 0,06	12,12 ± 0,25	13,10 ± 0,30**	13,25 ± 0,27*	13,67 ± 0,16***	13,83 ± 0,17***
ВЕ, мкм	5,78 ± 0,20	5,77 ± 0,24	5,63 ± 0,06	5,62 ± 0,06	5,53 ± 0,05	5,50 ± 0,07	5,30 ± 0,15**	5,28 ± 0,12**
ДЯЕ, мкм	2,95 ± 0,25	3,00 ± 0,23	3,04 ± 0,01	3,05 ± 0,02	3,00 ± 0,01*	3,02 ± 0,02*	2,89 ± 0,05*	2,90 ± 0,06*
ЯЦВ	0,251 ± 0,041	0,266 ± 0,039	0,269 ± 0,028	0,267 ± 0,027	0,260 ± 0,030	0,270 ± 0,027	0,290 ± 0,052	0,293 ± 0,039
ВОПЕ, %	2,05 ± 0,25	2,10 ± 0,24	3,51 ± 0,07	3,56 ± 0,04	4,81 ± 0,04***	5,13 ± 0,05***	10,32 ± 0,19***	11,80 ± 0,21***

Примітка: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$ порівняно із I дослідною групою.

ВЕ зменшувалася на 1,78 % у ребровій частині і на 2,14 % у ніжках діафрагми, що було статистично недостовірним ($p > 0,05$). Однак зміна діаметра ядер з низькою статистичною достовірністю ($p < 0,05$) відрізнялося від величин, отриманих у I дослідній групі. Так ДЯЕ у ребровій частині зменшувався з $(3,04 \pm 0,01)$ мкм до $(3,00 \pm 0,01)$ мкм, тобто на 1,32 % і з $(3,05 \pm 0,02)$ мкм до $(3,02 \pm 0,02)$ мкм у судинах ніжок, що складало 0,98 %.

ЯЦВЕ статистично недостовірно змінювалося. У ребровій частині воно зменшувалося на 3,35 %, а у клітинах судин ніжок збільшувалося на 1,11 %, що свідчить про диспропорційні структурні зрушення на цьому етапі дослідження. Це підтверджується також кількісними показниками ВОПЕ, кількість яких у судинах ребрової частини збільшувалася з $(3,51 \pm 0,07)$ % до $(4,81 \pm 0,04)$ %, що склало 27,03 % і з $(3,56 \pm 0,04)$ % до $(5,13 \pm 0,05)$ %, тобто 30,60 %. Показники мали високу статистичну достовірність ($p < 0,001$).

Через 5 годин пневмоперитонеуму зовнішній діаметр дрібних артерій ребрової частини становив $(37,70 \pm 0,22)$ мкм, який перевищував аналогічний, зазначений через 1 годину на 6,6 % ($p < 0,001$). У судинах ніжок цей показник був $(37,78 \pm 0,27)$ мкм, тобто більшим на 6,56 % ($p < 0,001$). З високою статистичною достовірністю ($p < 0,001$) збільшувалася товщина медії. Так у судинах ребрової частини вона зростала на 13,46 % і становила $(13,67 \pm 0,16)$ мкм, а в артеріях ніжок – на 12,36 % і дорівнювала $(13,83 \pm 0,17)$ мкм.

Такі зміни товщини стінок досліджуваних

артерій асоціювалися із достатньо суттєвим зменшенням їхнього внутрішнього діаметра, який у судинах ребрової частини $(10,03 \pm 0,17)$ мкм зменшувався на 15,00 % ($p < 0,001$) по відношенню до показника через 1 годину. Аналогічний параметр в артеріях ніжок становив $(9,85 \pm 0,13)$ мкм, що було менше на 16,17 % ($p < 0,001$).

З високою статистичною достовірністю змінювався індекс Вогенворта. У судинах ребрової частини він зростав до $(977,24 \pm 25,73)$, що становило 19,33 % ($p < 0,001$) і в судинах ніжок – до $(989,62 \pm 25,84)$, тобто на 19,38 % ($p < 0,001$).

Висота ендотеліоцитів на цьому терміні в ребровій частині становила $(5,30 \pm 0,15)$ мкм, зменшувалася на 5,86 % ($p < 0,01$), а в ніжках – $(5,28 \pm 0,12)$ мкм або меншим на 6,05 % ($p < 0,01$). Зменшувалося і середнє значення діаметру ендотеліоцитів. У судинах ребрової частини він знижувався на 4,94 %, у судинах ніжок – на 4,92 %. Різниця значень була достовірною ($p < 0,05$).

Нерівномірні диспропорційні зміни ядра і цитоплазми ендотеліоцитів призводили до зміни ядерно-цитоплазматичного відношення. Так у клітинах судин ребровій частині діафрагми цей параметр $(0,290 \pm 0,052)$ зростав на 7,24 %, а у ніжках $(0,293 \pm 0,039)$ – на 8,87 %.

Суттєво і з високою статистичною достовірністю ($p < 0,001$) змінювався відносний об'єм пошкоджених ендотеліоцитів, який становив $(10,32 \pm 0,19)$ % у ребровій частині, що було у 2,9 рази більше порівняно з I дослідною групою і у ніжках становив $(11,80 \pm 0,21)$ % тобто більше у 3,3 рази.

Морфологічна картина змінювалась і зале-

жала від тривалості пневмоперитонеуму, так через 1 годину м'язовий пласт частково втрачає компактність за рахунок набряку пери- та ендомізію, де були присутні клітинні інфільтрати та жирова клітковина. Ядра втрачали мономорфність та виявлялися поза межами своєї звичайної локалізації. Саркоплазма надзвичайно гетерогенна. Осередки її ущільнення змінювалися розрідженням, розпадом та, зрідка, цитолізом. Це поєднувалося із зміною орієнтації самих волокон.

Дослідження у II дослідній групі помімо дегенеративних змін саркоплазми виявило руйнування базальних мембран м'язових волокон, що гістологічно мало вигляд суцільної маси гетерогенної безструктурної маси. Серед цієї маси знаходилися поодинокі або групами збережені пікнотичні ядра і макрофаги. В більшості випадків м'язові волокна із збереженою сарколемою, але з проявами пошкодження – розпаду саркоплазми на фрагменти, її лізису, вакуолізації та еозинофільної дегенерації. Міофібрили розволокнюються і деформуються. В стромі порівняно із попереднім терміном наростає набряк, кількість жирової клітковини і кількість колагенових волокон переважно навколо судин.

У III дослідній групі виявлено більш широке втягування структурних компонентів діафрагми в патологічний процес. Гістологічно виявлявся увесь комплекс структурних змін, зазначених нами на попередньому терміні. Деформація м'язових волокон, їх фрагментація та лізис були максимальними у порівнянні із спостереженнями I та II груп, що свідчило про різке зниження скоротливої здатності діафрагми. Зростала гетерогенність волокон - на поперечних зрізах м'язові

волокна ставали округлі і зменшені в діаметрі, що свідчило про часткову атрофію діафрагмального м'яза. У відповідь на пошкодження виникали клітинні запальні інфільтрати. Відмінною особливістю була присутність геморагічної інфільтрації. В стромі на цьому терміні поряд із набряком і крововиливами зростала частка жирової клітковини та колагенових волокон.

Підсумок

Прогресуюче зменшення просвіту судин дрібного калібру за рахунок збільшення зовнішнього діаметру та зменшення внутрішнього діаметру значно погіршує кровопостачання ребрової та поперекової частини діафрагми, що свідчить про погіршення їхньої фізіологічної здатності в заданих умовах. Поглиблюються прояви ендотеліальної дисфункції за рахунок зменшення висоти ендотеліоцитів та різкого зростання відносного об'єму пошкоджених ендотеліоцитів. Поряд із цим виявлено фрагментацію та лізис м'язових волокон, що свідчить про зниження скоротливої здатності діафрагми і на пряму залежить від тривалості пневмоперитонеуму стандартного тиску.

Перспективи подальших досліджень

Виявлені зміни показників артерій дрібного калібру закладають початок цілої низки досліджень впливу пневмоперитонеуму на організм людини за умов застосування стандартного та низького внутрішньочеревного тиску.

Інформація про конфлікт інтересів

Потенційних або явних конфліктів інтересів, що пов'язані з цим рукописом, на момент публікації не існує та не передбачається.

Літературні джерела References

1. Zdravkovic M, Podbregar M, Kamenik M. Near-infrared spectroscopy for assessing microcirculation during laparoscopic gynaecological surgery under combined spinal-general anaesthesia or general anaesthesia alone: a randomised controlled trial. *J Clin Monit Comput.* 2020;34(5):943-53. doi: 10.1007/s10877-019-00406-9
2. Binda MM, Riiskjaer M, Koninckx PR. Pneumoperitoneum induced mesothelial cell changes in a laparoscopic mouse model. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol.* 2021;265:107-12. doi: 10.1016/j.ejogrb.2021.08.016
3. 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):43-6. doi: 10.5507/bp.2018.005
4. Kim K, Jang DM, Park JY, Yoo H, Kim HS, Choi WJ. Changes of diaphragmatic excursion and lung compliance during major laparoscopic pelvic surgery: A prospective observational study. *PLoS One.* 2018;13(11):e0207841. doi: 10.1371/journal.pone.0207841
5. Kim K, Kim KS, Jeon AR, Park JY, Choi WJ. Changes in diaphragmatic excursion and lung compliance during gynaecologic surgery: open laparotomy versus laparoscopy-a prospective observational study. *Sci Rep.* 2020;10(1):21458. doi: 10.1038/s41598-020-78375-2
6. Lee JH, Kang P, Park JB, Kim JT. Changes in diaphragmatic ultrasonography findings and their association with postoperative complications in children undergoing pulmonary resection: A single-centre, prospective, observational study. *Eur J Anaesthesiol.* 2023;40(12):953-6. doi: 10.1097/EJA.0000000000001910
7. Theerawit P, Eksombatchai D, Sutherasan Y, Suwatanapongched T, Kiatboonsri C, Kiatboonsri S. Diaphragmatic parameters by ultrasonography for predicting weaning outcomes. *BMC Pulm Med.* 2018;18(1):175. doi: 10.1186/s12890-018-0739-9

8. Parada-Gereda HM, Tibaduiza AL, Rico-Mendoza A, et al. Effectiveness of diaphragmatic ultrasound as a predictor of successful weaning from mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2023;27(1):174. doi: 10.1186/s13054-023-04430-9

9. Li S, Chen Z, Yan W. Application of bedside ultrasound in predicting the outcome of weaning from mechanical ventilation in elderly patients. *BMC Pulm Med*. 2021;21(1):217. doi: 10.1186/s12890-021-01605-4

10. Kraitsak MYu, Rosolovska SO, Levchuk OI. Method for modeling experimental carboxyperitoneum in rats. Ukraine Certificate of copyright registration for the work UA 126409. 2024 May 16.

Ukrainian.

11. Komori Y, Iwashita Y, Ohta M, et al. Effects of different pressure levels of CO₂ pneumoperitoneum on liver regeneration after liver resection in a rat model. *Surg Endosc*. 2016;28(8):2466-73. doi: 10.1007/s00464-014-3498-6.

12. Avital S, Itah R, Szomstein S, et al. Correlation of CO₂ pneumoperitoneal pressures between rodents and humans. *Surg Endosc*. 2016;23(1):50-4. doi: 10.1007/s00464-008-9862-7.

13. Kraitsak MYu, Slabyi OB, Yasinovskiy OB. Method of selecting experimental material from the diaphragm of white rats. Ukraine Certificate of copyright registration for the work UA 126059. 2024 April 29. Ukrainian.

Кріцак М.Ю., Слабий О.Б., Головата Т.К., Ясіновський О.Б. Вплив пневмоперитонеуму на морфометричні показники артерій дрібного калібру діафрагми: експериментальне рандомізоване контрольоване дослідження.

РЕФЕРАТ. Актуальність. Під час лапароскопії системний та легеневий судинний опір збільшуються, спостерігається підвищення центрального венозного тиску, перитонеальні структури зазнаються ішемічно-реперфузійної травми. Розуміння стану мікросудин пацієнта є клінічно важливим, оскільки порушення мікроциркуляції пов'язане з гіршим періопераційним результатом планової великої операції. **Метою** було вивчити морфометричні показники артерій дрібного калібру діафрагми під впливом пневмоперитонеуму стандартного тиску різної тривалості. **Методи.** 55 тварин розподілено на 4 групи, контрольну і 3 дослідні в залежності від тривалості пневмоперитонеуму, 1, 3 та 5 години, відповідно до номера групи. Відбирали окремо реброву та поперекову частини діафрагми з послудуючим вивченням морфометричних показників артерій дрібного калібру, які піддавались статистичній обробці. **Результати.** В процесі дослідження виявлено збільшення зовнішнього діаметру судини та зменшення внутрішнього діаметру, що призводило до зменшення пропускної здатності артерій. Дані зміни вели за собою збільшення індексу Вогенворта. Показник товщини медії статистично достовірно збільшувався. Висота ендотеліоцитів у I та II дослідній групі статистично недостовірно зменшувалась, крім III дослідної групи де критерій Ст'юдента становив менше 0,01. Діаметр ядер ендотеліоцитів демонстрував своє зменшення у I та II групі, але був більшим у III дослідній групі ($p < 0,05$). Із значною достовірністю ($p < 0,001$) збільшувався відносний об'єм пошкоджених ендотеліоцитів із збільшенням тривалості пневмоперитонеуму особливо у II та III дослідній групі. **Підсумок.** Прогресуюче зменшення просвіту судин дрібного калібру за рахунок збільшення зовнішнього діаметру та зменшення внутрішнього діаметру значно погіршує кровопостачання ребрової та поперекової частини діафрагми, що свідчить про погіршення їхньої фізіологічної здатності в заданих умовах. Поглиблюються прояви ендотеліальної дисфункції за рахунок зменшення висоти ендотеліоцитів та різкого зростання відносного об'єму пошкоджених ендотеліоцитів.

Ключові слова: експеримент, щури, пневмоперитонеум, діафрагма, морфологія, морфометрія.