

УДК 616.26-091:616.381-003.219:616.36-008.5]-092.9
DOI: 10.24061/1727-0847.24.2.2025.18

М. Ю. Кріцак, О. Б. Слабий*, О. Б. Ясіновський*

*Кафедри хірургії факультету післядипломної освіти (зав. – проф. І. Я. Дзюбановський); *операційної хірургії та клінічної анатомії (зав. – проф. М. С. Гнатюк) Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського МОЗ України*

ВПЛИВ ВНУТРІШНЬОЧЕРЕВНОГО ТИСКУ НА МОРФОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ М'ЯЗОВОЇ ЧАСТИНИ ДІАФРАГМИ ПРИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІЙ ЖОВТЯНИЦІ

Резюме. Лапароскопічні методи лікування широко використовуються в хірургічних операціях завдяки своїй мінімальній інвазивності та сприянню швидкому одужанню пацієнтів. В останні роки лапароскопічні методи є визначальними в малоінвазивній гепатобіліарній та панкреатичній хірургії.

Метою нашої роботи було оцінити морфометричні параметри ребрової та поперекової частини діафрагми під впливом пневмоперитонеуму, створеного вуглекислим газом, у щурів із змодельованою механічною жовтяницею.

Експериментальне дослідження виконане на 60 тваринах, яких розподілили на 4 групи по 15 щурів в кожній. І група – контрольна група, яким змодельована механічна жовтяниця. Перша, друга та третя основна групи, де моделювалась жовтяниця і створювався пневмоперитонеум відповідно впродовж 1, 2 та 3 годин. Опісля відбиралась діафрагма і вивчалися морфометричні показники.

При аналізі результатів морфометричних вимірювань через 3 години тривалості пневмоперитонеуму діаметр м'язових волокон збільшився, але на 2,44% був менше від даних, отриманих через 1 годину в ребровій частині і на 2,17% у ніжках ($p < 0,01$). Площа саркоплазми і площа ядра збільшилась у I основній групі і надалі зменшувалися і на цьому терміні їх параметр у ребровій дорівнювали ($1383,15 \pm 11,77$) мкм і ($63,87 \pm 0,13$) мкм, що становило 2,06% і 2,01% менше показників через 1 годину ($p < 0,001$). У м'язових волокнах ніжок аналогічні показники дорівнювали ($1369,11 \pm 8,4$) мкм і ($63,43 \pm 0,13$) мкм. тобто зменшувалися на 3,66% і 2,91% ($p < 0,001$). Відносний об'єм пошкоджених м'язових волокон статистично достовірно збільшувався у 13,4 та 11,7 рази відповідно у ребровій та поперековій частинах відносно контрольної групи.

Пневмоперитонеум призводив до хвилеподібного збільшення показників у основних групах дослідження, які характеризувались підвищенням діаметра м'язового волокна, площі саркоплазми площі ядра та відносного об'єму пошкоджених м'язових волокон порівняно із тваринами без нього.

Ключові слова: лапароскопія, пневмоперитонеум, механічна жовтяниця, діафрагма, морфометрія, експеримент, щурі.

Обтураційна жовтяниця характеризується обструкцією або здавленням жовчної протоки, що викликає жовтувату пігментацію шкіри, слизової оболонки та склер. Вона зазвичай асоціюється з такими захворюваннями, як хронічний калькульозний холецистит, холедохолітіаз, захворювання

підшлункової залози тощо. На жаль, у багатьох пацієнтів діагноз ставлять при високих рівнях лабораторних показників білірубіну, у зв'язку з пізнім зверненням про допомогу. Лапароскопічні методи лікування широко використовуються в хірургічних операціях завдяки своїй мінімальній інвазив-

ності та сприянню швидкому одужанню пацієнтів. В останні роки лапароскопічні методи є визначальними в малоінвазивній гепатобіліарній та панкреатичній хірургії. Кілька досліджень показали, що лапароскопічна холецистектомія, резекція печінки, спленектомія і навіть панкреатодуоденектомія є безпечними та здійсненними з очевидними перевагами порівняно з відкритим доступом [1, 2].

Однак, кілька досліджень показали, що вуглекислий газ (CO_2) пневмоперитонеум (ПП) негативно впливає на системні та легеневі гемодинамічні параметри, включаючи зниження серцевого викиду та підвищення середнього артеріального тиску, тиску у порожнистій вені та тиску заклинювання в легеневій артерії [3]. Крім того, під час ПП з CO_2 були продемонстровані зміни кислотно-лужного балансу, транслокація бактерій та ішемія спланхнічної порожнини [4, 5]. З іншого боку, внутрішньочеревний тиск 12-14 мм рт. ст. CO_2 , який традиційно використовується в лапароскопічній хірургії, вищий за нормальні значення тиску в портальній системі (7-10 мм рт. ст.). Отже, це значення ПП знижує портальний потік та викликає фізіологічні зміни у функції печінки [6].

Біліарна обструкція призводить до розвитку оксидантного ушкодження, фіброзу печінки, біліарного цирозу та портальної гіпертензії [7]. Хоча механізм гострого гепатоцитарного ушкодження та результуючого прогресуючого фіброгенезу в обструкції жовчовивідних шляхів ще не до кінця з'ясований, оксидантний стрес був запропонований як один з процесів, який може бути задіяний в обох проблемах. Холестаз сам по собі знижує антиоксидантну здатність мітохондрій печінки [8]. Накопичення гідрофобних жовчних кислот і запальних клітин у тканині печінки може спричинити збільшення вироблення вільних радикалів при біліарній обструкції [9]. Жовчні кислоти, зокрема, посилюють активні форми кисню, що вивільняються поліморфноядерними лейкоцитами [8, 9].

Крім того, при механічній жовтяниці (МЖ) за відсутності жовчовивідних шляхів, порушення функції ретикулоендотеліальної системи та імунітету, надмірний ріст кишкових бактерій та фізичне порушення слизового бар'єру кишок пояснюють високу частоту інфекційних ускладнень [8, 10]. Хірургічне втручання у пацієнтів з МЖ пов'язане зі збільшенням захворюваності та смертності. Лапароскопію можна використовувати у пацієнтів з жовтяницею та раком жовчних шляхів або головки підшлункової залози як для стадіювання та паліативного лікування, так і у пацієнтів з каменями загальної жовчної протоки (ЗЖП) для дослідження жовчних шляхів та очищення їх від ка-

менів. З іншого боку, холестаз можна відтворити у гризунів шляхом хірургічного лігування ЗЖП. Модель лігування ЗЖП була добре оцінена та описана на щурах [9]. Хоча детальний опис морфологічних та молекулярних змін після перев'язки жовчних проток у щурів відсутні, ця модель широко використовується для вивчення холестатичного ураження печінки [9], фіброгенезу та впливу різних речовин [8]. Важливо, що вплив CO_2 ПП на ушкодження та відновлення в різних клітинних компартментах діафрагми в умовах біліарної обструкції не був охарактеризований.

Мета дослідження: дати статистичну оцінку морфометричним параметрам ребрової та поперекової частини діафрагми під впливом пневмоперитонеуму, створеного вуглекислим газом, у щурів із змодельованою механічною жовтяницею.

Матеріал і методи. Для виконання нашої поставленої мети, нами розподілено 60 здорових статевозрілих щурів, віком 6 місяців, на 4 групи, контрольну і 3 основних. У контрольну групу (КГ) увійшли 15 тварин, яким моделювали МЖ і на 7 добу проводили відбір діафрагми [11]. У основних групах (ОГ) також проводили моделювання МЖ, але на 7-му добу проводили моделювання ПП упродовж 1, 2 та 3 годин відповідно в I ОГ, II ОГ та III ОГ. Всі елементи експериментального дослідження було виконано в умовах віварію Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського. Роботи з тваринами проводилися в першій половині дня в приміщенні при температурі 20-22 °C і відносній вологості 60-80%.

Перед проведенням знечулення тварин не годували впродовж 12 годин перед першою ін'єкцією, але забезпечували вільний доступ до води. Але за дві години до анестезії воду відміняли також, забирали поїлки із клітки. Для премедикації за 15 хвилин до введення основного препарату використовували Ксилазин у дозі 10 мг/кг, після відповідного терміну вводили Кетамін у дозі 90 мг/кг. Тварин фіксували на столику в положенні лежачи на спині. Під час анестезії, ми постійно контролювали температуру тіла кожного щура за допомогою ректального термометра та підтримували температуру в межах норми 35,5-37,5 °C.

Перед хірургічним втручанням передню черевну стінку голили, та тричі проводили обробку операційного поля антисептиками, обкладали стерильними салфетками. Після чого здійснювали серединний лапаротомний доступ довжиною 3,0 см. Через доступ обережного витягували шлунок та дванадцятипалу кишку, після чого візуалізували загальну жовчну протоку та прото-

ку підшлункової залози після чого перев'язували холедох шовним матеріалом. Хірургічні маніпуляції у всіх групах проводились одним і тим же експериментатором за однаковою технікою. Через 7 днів у тварин відмічалось пожовтіння вушок, жовтий колір сечі, жовтий відтінок склер. При розкритті черевної порожнини відмічали жовтянич-

ність жирової клітковини, незначну іктеричність м'язової тканини та розширення ЗЖП (рис. 1). Даний термін вибраний не випадково, згідно літератури проміжок часу від 5 до 7 днів достатній для вираженості жовтяниці у щурів та виникнення змін у органах та системах організму і оптимальний для вивчення цієї патології.



Рис. 1. Щур із змодельованою механічною жовтяницею, 7-ма доба, розширена загальна жовчна протока позначена стрілкою

На 7-му добу після моделювання МЖ проводилось повторне аналогічне знечуження і створювався ПП з показником 10 мм. рт. ст. згідно авторського свідоцтва на твір № 126409 [12]. Нагнітання CO_2 здійснювали за допомогою інсуфлятора KARL STORZ electronic laparoflator

26430020 (рис. 2). Він автоматично вдуває газ, щоб внутрішньочеревний тиск підтримувався на бажаному рівні. На приладі виставляли показник тиску на рівні 10 мм. рт. ст. Такий параметр тиску відповідає тиску 12-15 мм. рт. ст. в черевній порожнині людини [13].



Рис. 2. Моделювання пневмоперитонеуму: 1 – лапаротомна рана після моделювання механічної жовтяниці; 2 – голка Вереша введена в черевну порожнину і з'єднана із інсуфлятором

Два щурі із КГ померли на 5 та 6 добу після моделювання МЖ, із І ОГ – 2 тварини, на 2-гу та 5-ту добу, із ІІ ОГ – 2 щурі на 5-ту та 6-ту добу і із ІІІ ОГ – 3 особини на 6-ту добу. Механічна жовтяниця все ж таки тяжка патологія, яка запускає поліорганну недостатність внаслідок білірубінової інтоксикації, що і призводить до смертності.

Щурі, які загинули в процесі експерименту, були виключені з дослідження, і нових щурів не додавали замість них. Усіх інших щурів умертвляли в кінці експерименту.

З макропрепарату виділялись окремо реброва та поперекова частини діафрагми, які фіксували в 10% розчині нейтрального формаліну. Матеріал зневод-

нювали в етилових спиртах зростаючої концентрації та заливали у парафін. З кожного парафінового блоку виготовляли гістологічні зрізи, які після депарафінізації фарбували гематоксиліном і еозином, по методу Масона та толуїдиновим синім. Обробка результатів виконана в програмному пакеті Statsoft STATISTIKA. Вивчали: діаметр волокон; площу саркоплазми; пло-

щу ядер; ядерно-саркоплазматичне відношення; відносний об'єм пошкоджених м'язових волокон.

Результати дослідження та їх обговорення. Особливості структурних змін м'язових волокон ребрової та поперекової частин діафрагми шурів експериментальних груп, які вивчалися морфометричними методами показані в табл. 1.

Таблиця 1

Морфометрична характеристика м'язових волокон ребрової та поперекової частин експериментальних груп (M±m)

Показник	Експериментальні групи							
	Контрольна група		I основна група		II основна група		III основна група	
	Реброва частина	Поперекова частина	Реброва частина	Поперекова частина	Реброва частина	Поперекова частина	Реброва частина	Поперекова частина
ДВ, мкм	41,81±0,22	41,94±0,19	42,20 ± 0,26	42,45 ± 0,11	42,12 ± 0,19	42,38 ± 0,16	41,17 ± 0,10	41,53 ± 0,20
ПС, мкм	1359,52±15,98	1361,46±15,93	1412,18 ± 20,30	1421,12 ± 24,90	1390,73 ± 18,83	1396,15 ± 21,41	1383,15 ± 10,77	1369,11 ± 8,21
ПЯ, мкм	62,73±0,11	62,79±0,11	65,18 ± 0,16	65,33 ± 0,15	63,95 ± 0,20***	64,12 ± 0,26**	63,87 ± 0,13***	63,43 ± 0,13***
ЯСВ	0,0462±0,0005	0,0462±0,0005	0,0462 ± 0,0001	0,0460 ± 0,0001	0,0460 ± 0,0001	0,0459 ± 0,0001	0,0462 ± 0,0001	0,0463 ± 0,0001
ВОПМВ, %	3,81 ± 0,35	4,41 ± 0,19	25,03 ± 0,18	27,24 ± 0,21	45,28 ± 0,23***	49,40 ± 0,24***	51,33 ± 0,19***	52,03 ± 0,22***

Примітка: ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ порівняно із 1-ю годиною дослідження

Порівняння цифрових значень, які отримані через 1 годину в заданих умовах експерименту із показниками контрольної групи шурів, яким моделювали жовтяницю встановило, що діаметр м'язових волокон (ДВ) у ребровій частині діафрагми (РЧД) через 1 годину збільшувався на 0,92% ($41,81 \pm 0,22$) мкм проти ($42,20 \pm 0,26$) мкм, у поперековій частині діафрагми (ПЧД) цей показник ($42,45 \pm 0,11$) мкм збільшувався на 1,12% проти контрольної цифри ($41,94 \pm 0,19$) мкм. Площа саркоплазми і площа ядер також зростали, що свідчило про посилення компенсаторних процесів у м'язових волокнах діафрагми на цьому етапі. У РЧД площа саркоплазми (ПС) збільшувалася на 3,73%, у ніжках – 4,2%, а площа ядер (ПЯ) зростала відповідно на 3,76% і 3,89%. Ядерно-саркоплазматичне відношення (ЯСВ) не змінювалося у ребровій частині, яке становило в обох групах ($0,0462 \pm 0,0001$), у ніжках знижувалося на 0,43% і дорівнювало ($0,0460 \pm 0,0001$). Суттєво збільшувався відносний об'єм пошкоджених м'язових волокон (ВОПМВ). Якщо у ребровій частині діафрагми тварин контрольної групи ця цифра дорівнювала ($3,81 \pm 0,35$) %, то в заданих експериментальних умовах вона зростала у 6,6 рази і становила ($25,03 \pm 0,18$) %. У ніжках віднос-

ний об'єм пошкоджених волокон збільшувався до ($27,27 \pm 0,21$) %, або у 6,2 рази.

Через 2 години тривалості ПП на рівні внутрішньочеревного тиску 10 мм. рт. ст. ДВ зменшувалася на 0,19% у РЧД та на 0,17% в ПЧД і різниця значень між I ОГ та II ОГ виявилася статистично недостовірною ($p > 0,05$). Площа саркоплазми також із статистично недостовірною різницею ($p > 0,05$) зменшувалася по відношенню до показника, отриманого через 1 годину і в ребровій частині ця різниця становила 1,52%, а в ніжках – 1,76%. Проте ПЯ на цьому терміні зменшувалася із високою статистичною достовірністю ($p < 0,001$) у ребровій частині діафрагми на 1,89% і на 1,85% у ніжках ($p < 0,01$). Ядерно-саркоплазматичне відношення змінювалося незначно: всього на 0,43% зменшувалося у м'язових волокнах ребрової частини і на 0,22% у ніжках діафрагми ($p > 0,05$). У 1,8 разів зростав ВОПМВ в обох досліджуваних частинах діафрагми ($p < 0,001$).

Наведені дані свідчать про зниження компенсаторних процесів в м'язовому компоненті діафрагми і наростання дистрофічних та атрофічних змін. Подібна тенденція зазначена при аналізі результатів морфометричних вимірювань через 3 години тривалості ПП у III ОГ. Діаметр м'язових

волокон становив $(41,17 \pm 0,10)$ мкм у РЧД, що було на 2,44% менше від даних, отриманих через 1 годину і $(41,53 \pm 0,20)$ мкм в ПЧД або на 2,17% менше. Різниця значень виявилася статистично достовірною ($p < 0,01$).

Площа саркоплазми і площа ядра і надалі зменшувалися і на цьому терміні їх параметр у ребровій частині дорівнював $(1383,15 \pm 11,77)$ мкм і $(63,87 \pm 0,13)$ мкм, що становило 2,06% і 2,01% менше показників на 1-му терміні ($p < 0,001$). У м'язових волокнах ніжок аналогічні показники дорівнювали $(1369,11 \pm 8,4)$ мкм і $(63,43 \pm 0,13)$ мкм тобто зменшувалися на 3,66% і 2,91% ($p < 0,001$).

Синхронне зменшення параметрів саркоплазми і ядер не призводило до зміни ядерно-саркоплазматичного відношення у м'язових волокнах РЧД і дорівнювало $(0,0462 \pm 0,0001)$, але на 0,65% збільшувалося по відношенню до такого ж через 1 годину досліді при заданих умовах. Відносний об'єм пошкоджених м'язових волокон статистично достовірно ($p < 0,001$) збільшувався у ребровій частині у 2,1 рази, а в ПЧД – в 1,9 рази.

Відомо, що жовтяниця впливає на біліарне дерево, гепатоцити та індукує системну запальну відповідь, потенційно призводячи до системних ускладнень і збільшення післяопераційної захворюваності. Вплив ПП на виконання ранньої лапароскопічної холецистектомії та втручання на жовчовивідних шляхах у пацієнтів із гострою жовтяницею майже не описано в літературі. У цьому експерименті ми представляємо наші результати з метою зрозуміти патологічні впливи МЖ та ПП так званого «високого тиску», як прийнято називати тиск 12-15 мм. рт. ст., який найчастіше використовується в лапароскопії. Відомо з літературних джерел що тиск на рівні 12-15 мм. рт.ст. у людському організмі викликає аналогічні системні зміни в організмі щура при тиску 10 мм. рт. ст. [14, 15]. З точки зору експериментальних досліджень щурі є ідеальною твариною і економічно вигідною.

Результати дослідження є неочікуваними та викликають великий інтерес. Хоча ми могли очікувати, що група тварин на жовтяницю матиме зміни діафрагми, так як викликає подібні зміни у інших органах черевної порожнини. Проте ми не могли очікувати, що наявність ПП «високого тиску» поглиблює гістологічні зміни і логічно, що ці зміни більш виражені чим більш триваліший ПП, що і спостерігалось у нашому дослідженні. Цікавим було б як впливає на структуру діафрагми наявність МЖ та ПП «низького тиску». Останні

дослідження у цьому напрямку свідчать, що ПП на рівні 7 мм. рт. ст. в лапароскопії значно менше впливає на органи та системи організму людини та післяопераційний період в цілому [14]. Все це наштовхує на появу багатьох питань, які потребують вивчення.

При пошуку літературних джерел щодо впливу ПП та МЖ на дихальний м'яз, ми можемо сказати, що наше дослідження є першим із такою тематикою. Більшість праць ґрунтуються на впливі на організм в цілому інтраабдомінального тиску під час лапароскопічних оперативних втручання. Проте було кілька повідомлень, пов'язаних із несприятливим впливом CO_2 ПП на діафрагму після лапароскопічної операції, особливо виникнення так званого френікус-синдрому. Також відмічено, що під час ПП зміщується діафрагма вгору, зменшуючи податливість легень зменшуючи тим самим дихальний об'єм та об'єм плевральної порожнини і підвищує максимальний тиск у дихальних шляхах. У експерименті проведеному на кроликах, суть якого було моделювання хронічного підвищеного внутрішньочеревного тиску, що викликав зміни діафрагми, відмічалась адаптація цього дихального м'яза, еквівалентна інтенсивному скороченню, що призводило до її змін, щоб вона була функціонально більш ефективною щодо робочого навантаження, але робило її вразливою до окислювального стресу.

Висновок. Модель, в основу якої покладено перев'язка загальної жовчної протоки, призводить до розширення та розвитку механічної жовтяниці. Зміни морфоструктури м'язового компоненту діафрагми характеризуються хвилеподібним збільшенням діаметра м'язового волокна, площі саркоплазми та площі ядра з піком через 1 годину тривалості пневмоперитонеуму і поступовим зменшенням через 2 та 3 години. Щодо ядерно-саркоплазматичного відношення то воно статистично недостовірно змінювалось на всіх термінах експерименту. Найбільші зміни відмічались щодо рівня показника відносного об'єму пошкоджених м'язових волокон, який статистично достовірно збільшувався у 13,4 та 11,7 рази відповідно у ребровій та поперековій частинах діафрагми.

Перспективи подальших досліджень. Дані цього дослідження сприяють початку цілого комплексу досліджень частин діафрагми за умови пневмоперитонеуму створеного вуглекислим газом аналогічному, який використовується при лапароскопічному лікуванні механічної жовтяниці за умови дії стандартного та низького внутрішньочеревинного тиску різної тривалості.

Список використаної літератури

1. Goh JC, Tan JK, Lim JW, Shridhar IG, Madhavan K, Kow AW. Laparoscopic cholecystectomy for acute cholecystitis: an analysis of early versus delayed cholecystectomy and predictive factors for conversion. *Minerva Chir.* 2017;72(6):455-63. doi: 10.23736/S0026-4733.17.07412-0.
2. Borie F. Laparoscopic partial splenectomy: Surgical technique. *J Visc Surg.* 2016;153(5):371-6. doi: 10.1016/j.jviscsurg.2016.05.002.
3. Angelis A, Kostakis ID, Lilimpakis K, Kalaitzopoulou E, Papadea P, Skipitari M, et al. Time-Related Evidence of Intestinal Oxidative Stress in Obstructive Jaundice-Induced Rats. *Eur Surg Res.* 2023;64(3):323-33. doi: 10.1159/000530087.
4. Maleknia SA, Ebrahimi N. Evaluation of Liver Function Tests and Serum Bilirubin Levels After Laparoscopic Cholecystectomy. *Med Arch.* 2020;74(1):24-7. doi: 10.5455/medarh.2020.74.24-27.
5. Wang JK, Wu ZR, Hu HJ, Li FY. Is laparoscopy contraindicated for advanced gallbladder cancer? *Clin Res Hepatol Gastroenterol.* 2019;43(4): e61-e62. doi: 10.1016/j.clinre.2018.10.003.
6. Oti C, Mahendran M, Sabir N. Anaesthesia for laparoscopic surgery. *Br J Hosp Med (Lond).* 2016;77(1):24-8. doi: 10.12968/hmed.2016.77.1.24.
7. Ott DE. Abdominal Compliance and Laparoscopy: A Review. *JSLs.* 2019;23(1): e2018.00080. doi: 10.4293/JSLs.2018.00080.
8. Bilgic T, Narter F. Effects of pneumoperitoneum with carbon dioxide on renal and hepatic functions in rats. *Wideochir Inne Tech Maloinwazyjne.* 2020;15(4):574-82. doi: 10.5114/wiitm.2020.93990.
9. Ozozan OV, Dinc T, Vural V, Ozogul C, Ozmen MM, Coskun F. An electron microscopy study of liver and kidney damage in an experimental model of obstructive jaundice. *Ann Ital Chir.* 2020;91:122-30.
10. Hajibandeh S, Hajibandeh S, Sarma DR, Balakrishnan S, Eltair M, Mankotia R, et al. Laparoscopic Transcystic Versus Transductal Common Bile Duct Exploration: A Systematic Review and Meta-analysis. *World J Surg.* 2019;43(8):1935-48. doi: 10.1007/s00268-019-05005-y.
11. Кріцак МЮ, Слабий ОБ, Ясіновський ОБ. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Спосіб відбору експериментального матеріалу діафрагми білих щурів. № 126059 від 29 квітня 2024 року.
12. Кріцак МЮ, Росоловська СО, Левчик ОІ. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Спосіб моделювання експериментального карбоксиперитонеуму у щура. № 126409 від 16 травня 2024 року.
13. Gunusen I, Akdemir A, Gurel C, Sargin A, Taskiran D, Kuscu GC, et al. The Effects of Different Pressure Pneumoperitoneum Models Created By Standard or Heated-Humidified CO2 Insufflation on Ovary and Peritoneum: an Experimental Study in Rats. *Reprod Sci.* 2022 Apr;29(4):1197-208. doi: 10.1007/s43032-022-00878-2.
14. Komori Y, Iwashita Y, Ohta M, Kawano Y, Inomata M, Kitano S. Effects of different pressure levels of CO2 pneumoperitoneum on liver regeneration after liver resection in a rat model. *Surg Endosc.* 2014;28(8):2466-73. doi: 10.1007/s00464-014-3498-6.
15. Avital S, Itah R, Szomstein S, Rosenthal R, Inbar R, Sckornik Y, et al. Correlation of CO2 pneumoperitoneal pressures between rodents and humans. *Surg Endosc.* 2009;23(1):50-4. doi: 10.1007/s00464-008-9862-7.

References

1. Goh JC, Tan JK, Lim JW, Shridhar IG, Madhavan K, Kow AW. Laparoscopic cholecystectomy for acute cholecystitis: an analysis of early versus delayed cholecystectomy and predictive factors for conversion. *Minerva Chir.* 2017;72(6):455-63. doi: 10.23736/S0026-4733.17.07412-0.
2. Borie F. Laparoscopic partial splenectomy: Surgical technique. *J Visc Surg.* 2016;153(5):371-6. doi: 10.1016/j.jviscsurg.2016.05.002.
3. Angelis A, Kostakis ID, Lilimpakis K, Kalaitzopoulou E, Papadea P, Skipitari M, et al. Time-Related Evidence of Intestinal Oxidative Stress in Obstructive Jaundice-Induced Rats. *Eur Surg Res.* 2023;64(3):323-33. doi: 10.1159/000530087.
4. Maleknia SA, Ebrahimi N. Evaluation of Liver Function Tests and Serum Bilirubin Levels After Laparoscopic Cholecystectomy. *Med Arch.* 2020;74(1):24-7. doi: 10.5455/medarh.2020.74.24-27.
5. Wang JK, Wu ZR, Hu HJ, Li FY. Is laparoscopy contraindicated for advanced gallbladder cancer? *Clin Res Hepatol Gastroenterol.* 2019;43(4): e61-e62. doi: 10.1016/j.clinre.2018.10.003.

6. Oti C, Mahendran M, Sabir N. Anaesthesia for laparoscopic surgery. *Br J Hosp Med (Lond)*. 2016;77(1):24-8. doi: 10.12968/hmed.2016.77.1.24.
7. Ott DE. Abdominal Compliance and Laparoscopy: A Review. *JSLs*. 2019;23(1): e2018.00080. doi: 10.4293/JSLs.2018.00080.
8. Bilgic T, Narter F. Effects of pneumoperitoneum with carbon dioxide on renal and hepatic functions in rats. *Wideochir Inne Tech Maloinwazyjne*. 2020;15(4):574-82. doi: 10.5114/wiitm.2020.93990.
9. Ozozan OV, Dinc T, Vural V, Ozogul C, Ozmen MM, Coskun F. An electron microscopy study of liver and kidney damage in an experimental model of obstructive jaundice. *Ann Ital Chir*. 2020;91:122-30.
10. Hajibandeh S, Hajibandeh S, Sarma DR, Balakrishnan S, Eltair M, Mankotia R, et al. Laparoscopic Transcystic Versus Transductal Common Bile Duct Exploration: A Systematic Review and Meta-analysis. *World J Surg*. 2019;43(8):1935-48. doi: 10.1007/s00268-019-05005-y.
11. Kritsak MYU, Slabyi OB, Yasinovs'kyi OB. Svidotstvo pro reyestratsiyu avtors'koho prava na tvir: Sposib vidboru eksperymental'noho materialu diafragmy bilykh shchuriv. № 126059 vid 29 kvitnya 2024 roku. [in Ukrainian].
12. Kritsak MYU, Rosolovs'ka SO, Levchyk OI. Svidotstvo pro reyestratsiyu avtors'koho prava na tvir: Sposib modelyuvannya eksperymental'noho karboksypertoneumu u shchura. № 126409 vid 16 travnya 2024 roku. [in Ukrainian].
13. Gunusen I, Akdemir A, Gurel C, Sargin A, Taskiran D, Kuscü GC, et al. The Effects of Different Pressure Pneumoperitoneum Models Created By Standard or Heated-Humidified CO₂ Insufflation on Ovary and Peritoneum: an Experimental Study in Rats. *Reprod Sci*. 2022 Apr;29(4):1197-208. doi: 10.1007/s43032-022-00878-2.
14. Komori Y, Iwashita Y, Ohta M, Kawano Y, Inomata M, Kitano S. Effects of different pressure levels of CO₂ pneumoperitoneum on liver regeneration after liver resection in a rat model. *Surg Endosc*. 2014;28(8):2466-73. doi: 10.1007/s00464-014-3498-6.
15. Avital S, Itah R, Szomstein S, Rosenthal R, Inbar R, Sckornik Y, et al. Correlation of CO₂ pneumoperitoneal pressures between rodents and humans. *Surg Endosc*. 2009;23(1):50-4. doi: 10.1007/s00464-008-9862-7.

INFLUENCE OF INTRA-ABDOMINAL PRESSURE ON MORPHOMETRIC PARAMETERS OF THE MUSCULAR PART OF THE DIAPHRAGM IN EXPERIMENTAL JAUNDICE

Abstract. Laparoscopic treatment methods are widely used in surgical operations due to their minimal invasiveness and promoting rapid recovery of patients. In recent years, laparoscopic methods have made significant progress in minimally invasive hepatobiliary and pancreatic surgery.

The aim of our work was to evaluate the morphometric parameters of the costal and lumbar parts of the diaphragm under the influence of pneumoperitoneum created by carbon dioxide in rats with simulated mechanical jaundice.

The experimental study was performed on 60 animals, which were divided into 4 groups of 15 rats each. Group I is the control group, which simulated mechanical jaundice. The first, second and third main groups, where jaundice was simulated and pneumoperitoneum was created for 1, 2 and 3 hours, respectively. Then the diaphragm was taken and morphometric indicators were studied.

When analyzing the results of morphometric measurements after 3 hours of pneumoperitoneum, the diameter of muscle fibers increased, but was 2.44% less than the data obtained after 1 hour in the rib part and 2.17% in the legs ($p < 0.01$). The area of the sarcoplasm and the area of the nucleus increased in the I main group and then decreased, and at this time their parameter in the rib part was $(1383.15 \pm 11.77) \mu\text{m}$ and $(63.87 \pm 0.13) \mu\text{m}$, which was 2.06% and 2.01% less than the indicators after 1 hour ($p < 0.001$). In the muscle fibers of the legs, similar indicators were $(1369.11 \pm 8.4) \mu\text{m}$ and $(63.43 \pm 0.13) \mu\text{m}$, i.e. decreased by 3.66% and 2.91% ($p < 0.001$). The relative volume of damaged muscle fibers statistically significantly increased by 13.4 and 11.7 times, respectively, in the costal and lumbar parts relative to the control group.

Pneumoperitoneum led to a wave-like increase in indicators in the main study groups, which were characterized by an increase in muscle fiber diameter, sarcoplasmic area, nuclear area, and relative volume of damaged muscle fibers compared to animals without it.

Key words: laparoscopy, pneumoperitoneum, mechanical jaundice, diaphragm, morphometry, experiment, rats.

Відомості про авторів:

Кріцак Мирослав Юрійович – кандидат медичних наук, доцент кафедри хірургії факультету післядипломної освіти Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського МОЗ України, м. Тернопіль, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1020-3584>;

Слабий Олег Богданович – доктор медичних наук, професор кафедри оперативної хірургії та клінічної анатомії Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського МОЗ України, м. Тернопіль, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5645-7905>;

Ясіновський Олег Борисович – кандидат медичних наук, доцент кафедри оперативної хірургії та клінічної анатомії Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського МОЗ України, м. Тернопіль, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5121-3140>.

Information about the authors:

Kritsak Myroslav Yu. – PhD, Associate Professor of the Surgery, Faculty of Postgraduate Education Department of the I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ternopil, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1020-3584>;

Slabyi Oleh B. – PhD in Medical Sciences, Professor of the Department of Operative Surgery and Clinical Anatomy of the I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ternopil, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5645-7905>;

Yasinovskyi Oleh B. – PhD, Associate Professor of the Operative Surgery and Clinical Anatomy Department of the I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ternopil, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5121-3140>.

Надійшла 25.03.2025 р.