УДК: 611.34.018.088.5:535.361

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ КОГЕРЕНТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЖИТТЄЗДАТНОСТІ КИШОК

А. І. Шурма, Ф. В. Гринчук

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна

Ключові слова:
тонка кишка, товста кишка, життєздатність, лазерні промені.

Клінічна та експериментальна патологія 2023. Т.22, №1 (83). С. 57-62.

DOI:10.24061/1727-4338.XXII.1.83.2023.09

E-mail: shurma.andrii@bsmu.edu.ua

Мета роботи – *дослідити ефективність застосування когерентного випромінювання для визначення життєздатності кишок в експерименті.*
Матеріал і методи. *Використано 30 білих нелінійних щурів. У 10 тварин перев'язували тонку кишку (ТнК) з брижею, у 10 – перев'язували товсту кишку (ТвК) з брижею, контролем були відповідні дані 10 здорових тварин. Через 12 год вимірювали ширину зони розсіювання (ШЗР) лазерних променів (у міліметрах) на стінках кишок у привідній (ПрД), відвідній (ВвД) і перев'язаній (ПвД) ділянках і забирали їх на гістологічне дослідження. Використовували лазерні світлодіоди з довжинами хвиль λ=0,63 мкм і λ=0,5 мкм.*
Результати. *Гістологічні дослідження виявили морфологічні порушення у ПрД без некрозу, незначні зміни ВвД і некроз Пв Д. Відношення показників ШЗР на довжинах хвиль λ=0,63/λ=0,5 мкм у контролі на ТнК = 1,01±0,08, на ТвК = 1,04±0,07 (p>0,05), на ПрД ТнК = 0,79±0,05, ТвК = 0,82±0,03 (p>0,05), контроль – p<0,05. На ВвД ТнК = 0,93±0,06, ТвК = 0,97±0,07 (p>0,05), контроль – p>0,05, ПрД – p<0,05. На ПвД ТнК = 0,64±0,03, ТвК = 0,62±0,02 (p>0,05), контроль – p<0,01, ПрД і ВвД – p<0,05.*
Висновки. *1. ШЗР стінками ТнК і ТвК лазерних променів із довжинами хвиль λ=0,63 мкм і λ=0,5 мкм статистично достовірно зростає у ділянках кишок із некрозом, зумовленим перев'язуванням кишки та її брижі. 2. У ділянках кишок із морфологічними змінами без розвитку некрозу ШЗР зростає, але частково, без достовірних відмінностей. 3. Співвідношення показників ШЗР лазерного променя з довжиною хвилі λ=0,63 мкм і з довжиною хвилі λ=0,5 мкм статистично істотно відрізняється у ділянках кишок без порушення життєздатності, з морфологічними змінами без ознак некрозу і з некрозом. 4. Показники співвідношення більші за 0,9 засвідчують про відсутність порушень життєздатності, параметри в межах 0,9-0,65 – про морфологічні зміни без некрозу, а параметри показника нижчі за 0,65 – про некроз кишки.*

EXPERIMENTAL STUDY OF THE USE OF COHERENT RADIATION TO DETERMINE THE BOWELS VIABILITY

A. I. Shurma, F. V. Grynchuk

Bukovynian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

Key words:
small intestine, large intestine, viability, laser rays.

Clinical and experimental pathology 2023. Vol.22, № 1 (83). P. 57-62.

Aim of the study – *to investigate the effectiveness of using coherent radiation to determine the viability of intestines in an experiment.*
Materials and methods. *30 non-linear white rats were used. In 10 animals, the small intestine (SmlI) with the mesentery was ligated. In 10 animals, the colon with the mesentery was ligated. After 12 hours, the width of the scattering zone (WSZ) of laser beams was measured (in millimeters) on the walls of the intestines in the afferent (Af), efferent (Ef) and ligature (Lig) areas and taken for histological examination. The data of 10 healthy animals served as a control. Laser LEDs with wavelengths of λ=0.63 μm and λ=0.5 μm were used.*
The results. *Histological studies revealed morphological abnormalities in the Af without necrosis, minor changes in the Ef and necrosis of the Lig. The ratio of the parameters of WSZ at wavelengths: λ=0.63/λ=0.5 μm in the control on SmlI = 1.01±0.08, on LrgI = 1.04±0.07 (p>0.05), on Lig SmlI = 0.79±0.05, LrgI = 0.82±0.03 (p>0.05), control – p<0.05. On Ef SmlI = 0.93±0.06, LrgI = 0.97±0.07 (p>0.05), control – p>0.05, Lig – p<0.05. On Af SmlI = 0.64±0.03, LrgI = 0.62±0.02 (p>0.05), control – p<0.01, Af and Ef – p<0.05.*
Conclusions. *1. WSZ by the walls of SmlI and LrgI of laser beams with wavelengths λ=0.63 μm and λ=0.5 μm increases statistically significantly in areas of intestines with necrosis caused by ligation of the intestine and its mesentery. 2. In the areas of the intestines with morphological changes without the development of necrosis, WSZ increases, but, partly, without significant differences. 3. The ratio of the WSZ indicators of a laser beam with a wavelength of λ=0.63 μm to that with a wavelength of λ=0.5 μm*

is statistically significantly different in areas of intestines without impaired viability, with morphological changes without signs of necrosis, and with necrosis. 4. Ratio indicators greater than 0.9 indicate the absence of viability violations, parameters within 0.9-0.65 indicate morphological changes without necrosis, and indicator parameters lower than 0.65 indicate intestinal necrosis.

Вступ

Оцінювання життєздатності (Жтз) кишок є частим складником операцій на органах черевної порожнини. Найчастіше таке завдання вирішують у випадках гострої кишкової непрохідності, защемлення грижі, гострої мезентеріальної ішемії [1-4]. Головним методом оцінювання залишається візуальний, хоч його суб'єктивність і недостатня надійність відомі [5,6]. Для об'єктивізації оцінювання запропоновані різноманітні способи. Більшість із них засновані на визначенні інтенсивності кровообігу в тканинах, для чого, зокрема, пропонують вимірювати ступінь оксигенації [7-9], оцінювати розподіл флуоресцентних речовин [10-13], застосовувати сонографію [14], плетизмографію [6]. Водночас зміни кровообігу недостатньо інформативні для визначення життєздатності, оскільки некроз починається зі слизової оболонки [5], а такі методи його не виявляють. Для комплексного оцінювання Жтз запропонована низка методів, заснованих на використанні різних фізичних ефектів [15-18], які, втім, через різні причини, серед яких технічна складність, недостатня інформативність тощо, широкого втілення не знайшли. Отож пошуки ефективного методу оцінювання Жтз залишаються актуальними.

Мета роботи

Дослідити ефективність застосування когерентного випромінювання для визначення життєздатності кишок в експерименті.

Матеріали і методи дослідження

Матеріалом дослідження стали 30 білих нелінійних щурів. У 10 тварин після лапаротомії виконували перев'язування лігатурою петлі середньої частини тонкої кишки довжиною 4 см разом із брижею. У 10 тварин виконували перев'язування лігатурою петлі середньої частини товстої кишки довжиною 4 см разом із брижею. Операційну рану зашивали наглухо. Через 12 год виконували лапаротомію, вимірювали ширину зони розсіювання (ШЗР) лазерних променів на стінках кишок в таких точках: у привідній до перев'язаної ділянки на відстані 3 см від лігатури, у відвідній до перев'язаної ділянки на відстані 3 см від лігатури, посередині перев'язаної ділянки. Надалі забирали ділянки кишок на гістологічне дослідження. Контролем були дані, отримані вимірюванням ШЗР на відповідному матеріалі у 10 здорових тварин.

Для гістологічного дослідження тканини фіксували в 10 % розчині формаліну, зневоднювали у висхідній батареї спиртів, заливали в парафін. Зрізи завтовшки 5 мкм робили на мікротомі. Депарафіновані зрізи зафарбовували гематоксилін-еозином. Зафарбовані препарати вивчали у світлооптичному мікроскопі Delta Optical Evolution Pro 100.

Для опромінення використовували лазерні світлодіоди, що випромінюють на довжинах хвиль λ=0,63 мкм і λ=0,5 мкм. Ширину зони розсіювання визначали у міліметрах.

Виконуючи роботу, дотримувались загальноприйнятих світових та вітчизняних норм, задекларованих GLP (1981 р.), Конвенцією Ради Європи про охорону хребетних тварин, що використовують в експериментах та інших наукових цілях, від 18.03.1986 р., Директивами ЄЕС № 609 від 24.11.1986 р. і наказом МОЗ України № 690 від 23.09.2009 р. Для знеболення тварин застосовували інгаляційний севофлурановий наркоз. Тварин виводили з експерименту передозуванням анестетика.

Статистичне обчислення результатів досліджень проводили з використанням електронних таблиць Microsoft® Office Excel (build 11.5612.5703). Перевірку закону розподілу вибірок на нормальність здійснювали за допомогою критерію Шапіро-Вілка. Для перевірки гіпотези про рівність середніх використовували критерій Уілкоксона-Манна-Уїтні.

Результати та їх обговорення

Гістологічні дослідження засвідчили відсутність патологічних змін стінок кишок у тварин групи контролю (рис. 1, рис. 2). Показники ШЗР тонкої кишки на довжині хвилі λ=0,63 мкм становили 5,8±0,25, на довжині хвилі λ=0,5 мкм – 5,9±0,31, а товстої кишки, відповідно – 6,5±0,31 та 6,3±0,21.

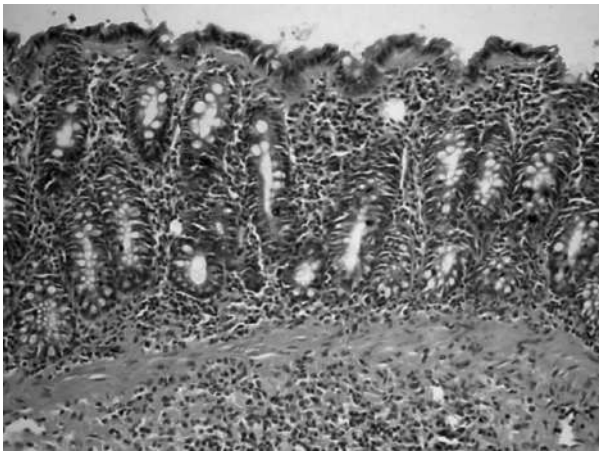

Рис. 1. Гістологічний препарат тонкої кишки інтактного щура, забарвлення гематоксилін-еозином. Незмінені два шари м'язів, підслизовий шар, слизовий шар, ворсинки (Об'єктив 20х, окуляр10х, загальне оптичне збільшення 200х).

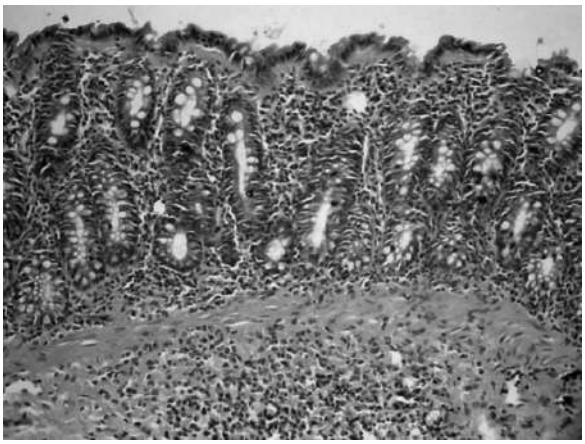

Рис. 2. Гістологічний препарат товстої кишки інтактного щура, забарвлення гематоксилін-еозином. Незмінені м'язи, підслизовий шар, слизовий шар, крипти (Об'єктив 20х, окуляр10х, загальне оптичне збільшення 200х).

Після моделювання ішемії у привідній до перев'язаної петлі ділянці тонкої кишки (рис. 3) виявляли везикулярно-бульозний набряк очеревини, водночас основні структури очеревини, м'язів, слизового шару були збережені.

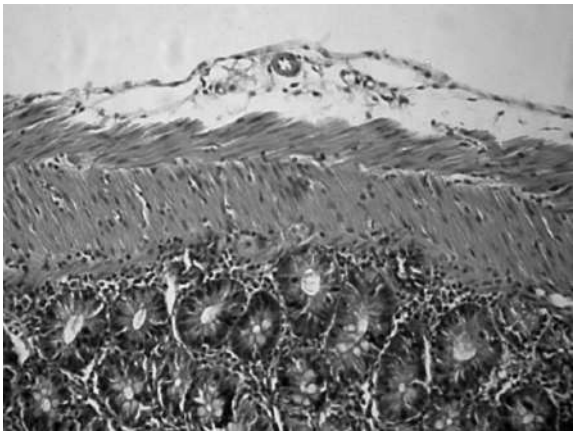

Рис. 3. Гістологічний препарат привідної ділянки тонкої кишки щура, забарвлення гематоксилін-еозином. Везикулярно-бульозний набряк очеревини; основні структури очеревини, м'язів, слизового шару збережені (Об'єктив 20х, окуляр10х, загальне оптичне збільшення 200х).

У відвідній від перев'язаної петлі ділянці виявляли повнокров'я венозних судин і збережені основні структури очеревини, м'язів, слизового шару (рис. 4).

У перев'язаних ділянках виявляли ознаки некрозу (рис. 5).

У привідній ділянці товстої кишки виявили дрібновогнищеву десквамацію мезотелію, везикулярний набряк очеревини, набряк м'язового шару, окремі підсерозні крововиливи; основні структури очеревини, м'язів, слизового шару були збережені (рис. 6).

У відвідних ділянках виявляли мікрофокальне злущення мезотелію, набряк підслизового шару; основні структури очеревини, м'язів, слизового шару були збережені (рис. 7).

Рис. 4. Гістологічний препарат відвідної ділянки тонкої кишки щура, забарвлення гематоксилін-еозином. Повнокров'я венозних судин; основні структури очеревини, м'язів, слизового шару збережені (Об'єктив 20х, окуляр10х, загальне оптичне збільшення 200х).

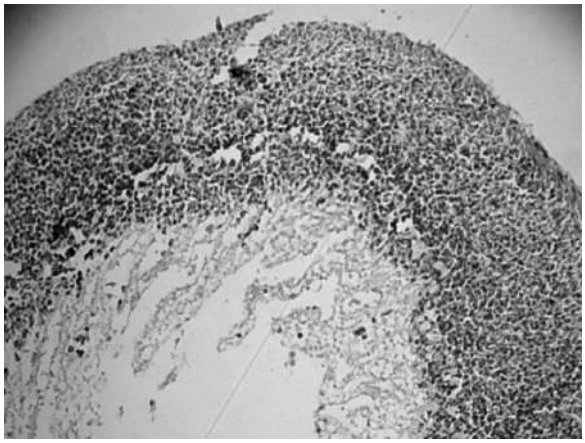

Рис. 5. Гістологічний препарат защемленої ділянки тонкої кишки щура, забарвлення гематоксилін-еозином. Некроз ворсинок і глибоких шарів слизової оболонки, у підслизовій основі, м'язах, очеревині ознаки гнійного запалення (Об'єктив 20х, окуляр10х, загальне оптичне збільшення 200х).

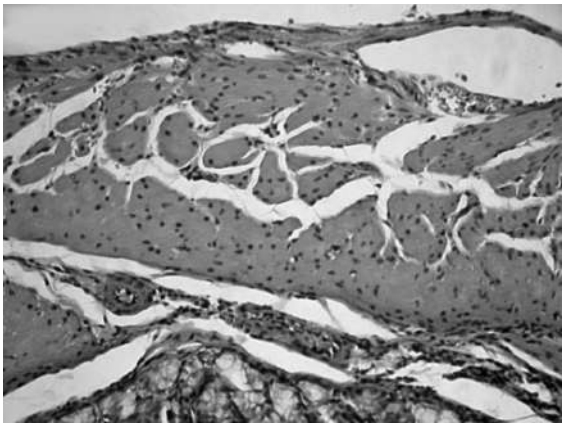

Рис. 6. Гістологічний препарат привідної ділянки товстої кишки щура, забарвлення гематоксилін-еозином. Дрібновогнищева десквамація мезотелію, везикулярний набряк очеревини, набряк м'язового шару, окремі підсерозні крововиливи; основні структури очеревини, м'язів, слизового шару збережені (Об'єктив 20х, окуляр10х, загальне оптичне збільшення 200х).

Рис. 7. Гістологічний препарат відвідної ділянки товстої кишки щура, забарвлення гематоксилін-еозином. Мікрофокальне злущення мезотелію, набряк підслизового шару; основні структури очеревини, м'язів, слизового шару збережені (Об'єктив 20х, окуляр10х, загальне оптичне збільшення 200х).

У перев'язаних ділянках виявляли ознаки некрозу (рис. 8).

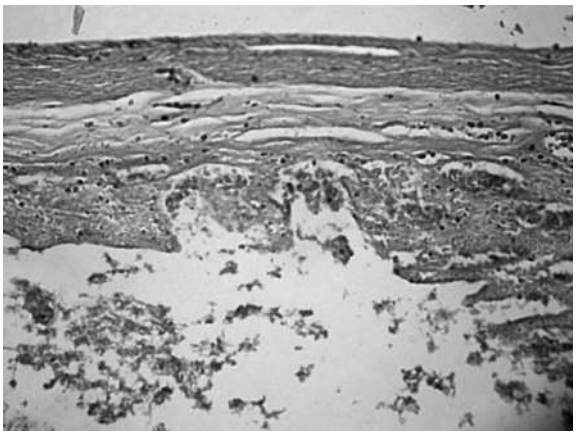

Рис. 8. Гістологічний препарат защемленої ділянки товстої кишки щура, забарвлення гематоксилін-еозином. Міоліз, крововиливи, некроз крипт і глибоких шарів слизової оболонки (Об'єктив 20^x, окуляр10^x, загальне оптичне збільшення 200^x).

Показники ШЗР привідної ділянки тонкої кишки на довжині хвилі λ=0,63 мкм становили 6,6±0,26, на довжині хвилі λ=0,5 мкм – 8,4±0,31, а товстої кишки, відповідно – 7,2±0,29 та 8,8±0,20. Показники ШЗР відвідної ділянки тонкої кишки на довжині хвилі λ=0,63 мкм становили 5,9±0,28, на довжині хвилі λ=0,5 мкм – 6,5±0,40, а товстої кишки, відповідно – 6,1±0,27 та 6,4±0,26. Показники ШЗР перев'язаної ділянки тонкої кишки на довжині хвилі λ=0,63 мкм становили 7,8±0,2, на довжині хвилі λ=0,5 мкм – 12,3±0,42, а товстої кишки, відповідно – 8,1±0,17 та 13,1±0,27.

Викладене засвідчує, що ШЗР лазерних променів на стінках кишок змінюється залежно як від глибини морфологічних змін, зумовлених їх пошкодженням після перев'язуванням, так і від місця вимірювання. Зокрема, відмінності між показниками контролю і привідної ділянки тонкої кишки були статистично достовірними на довжині хвилі λ=0,5 мкм ($p<0,01$), а для товстої кишки статистично значимими на обох довжинах хвиль ($p<0,05$, $p<0,01$). Між показниками контролю та відвідної ділянки статистично істотних відмінностей не було. Між показниками контролю та перев'язаними ділянками статистично достовірні відмінності зафіксовані на обох довжинах хвиль ($p<0,01$). Між показниками привідних і відвідних ділянок на тонкій кишці статистично істотні відмінності виявлені на довжині хвилі λ=0,5 мкм ($p<0,01$), а на товстій кишці – на обох довжинах хвиль ($p<0,05$, $p<0,01$). Між показниками привідної і перев'язаної ділянок обох кишок на обох довжинах хвиль відмінності були статистично достовірними ($p<0,05$, $p<0,01$). Отже, зміни ШЗР здебільшого інформативно відображають наявність та глибину морфологічних змін кишкових стінок.

Втім, абсолютні показники, хоч і не надто суттєво, але відрізняються для різних відділів кишок. Водночас відмінності, залежні від глибини морфологічних змін, не завжди статистично достовірні. Окрім того, їх застосування за клінічних умов унеможливлюють видові відмінності розсіювання лазерних променів тканинами [19]. Тому ми вивчили зміни відносного параметра – співвідношення показників ШЗР на довжині хвилі λ=0,63 мкм і на довжині хвилі λ=0,5 мкм. Встановлено, що у контролі таке співвідношення становило для тонкої кишки 1,01±0,08, для товстої – 1,04±0,07 ($p>0,05$); для привідної ділянки тонкої кишки – 0,79±0,05, товстої – 0,82±0,03 ($p>0,05$), що в обох випадках статистично істотно ($p<0,05$) менше за контрольний показник. Для відвідної ділянки тонкої кишки це співвідношення становило 0,93±0,06, товстої – 0,97±0,07, що статистично достовірно не відрізняється між цими відділами та від контрольних показників, але статистично істотно більше за показники привідної ділянки ($p<0,05$). Для перев'язаної ділянки тонкої кишки співвідношення було 0,64±0,03, товстої кишки – 0,62±0,02 ($p>0,05$), що статистично істотно ($p<0,01$) менше за показники контролю, привідної ($p<0,05$) та відвідної ($p<0,05$) ділянок.

Отже, показники означеного співвідношення можна використати як достатньо точний критерій Жтз. Параметри показника більші за 0,9 засвідчують про збережену Жтз, параметри в межах 0,9-0,65 – про морфологічні зміни без некрозу, а параметри показника нижчі за 0,65 – про некроз кишки. Отримані дані підтверджують можливість апробації такого оцінювального критерію за клінічних умов.

Висновки

1. Ширина зони розсіювання стінками тонкої і товстої кишок лазерних променів із довжинами хвиль λ=0,63 мкм і λ=0,5 мкм статистично достовірно зростає у ділянках кишок із некрозом, зумовленим перев'язуванням кишки і її брижі.

2. У ділянках кишок із морфологічними змінами без розвитку некрозу ширина зони розсіювання зростає, але без достовірних відмінностей.

3. Співвідношення показників ширини зони розсіювання лазерного променя з довжиною хвилі

λ=0,63 мкм і з довжиною хвилі λ=0,5 мкм статистично достовірно відрізняється у ділянках кишок без порушення життєздатності, з морфологічними змінами без ознак некрозу і з некрозом.

4. Показники співвідношення більші за 0,9 засвідчують про відсутність порушень життєздатності, параметри в межах 0,9-0,65 – про морфологічні зміни без некрозу, а параметри показника нижчі за 0,65 – про некроз кишки.

Перспективи подальшого дослідження

Результати цього експериментального дослідження засвідчують перспективність апробації напрацьованого методу для визначення життєздатності кишок у клінічних умовах.

Список літератури

1. Surek A, Gemici E, Ferahman S, Karli M, Bozkurt MA, Dural AC, et al. Emergency surgery of the abdominal wall hernias: risk factors that increase morbidity and mortality-a single-center experience. Hernia. 2021;25(3):679-88. doi: 10.1007/s10029-020-02293-5

2. Johnson WR, Hawkins AT. Large Bowel Obstruction. Clin Colon Rectal Surg. 2021 Jul;34(4):233-241. doi: 10.1055/s-0041-1729927

3. Detz DJ, Podrat JL, Castro JCM, Lee YK, Zheng F, Purnell S, et al. Small bowel obstruction. Curr Probl Surg [Internet]. 2021[cited 2023 May 19];58(7):100893. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011384020301635?via%3Dihub doi: 10.1016/j.cpsurg.2020.100893

4. Bala M, Kashuk J, Moore EE, Kluger Y, Biffl W, Gomes CA, et al. Acute mesenteric ischemia: guidelines of the World Society of Emergency Surgery. World J Emerg Surg [Internet]. 2017[cited 2023 May 21];12:38. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5545843/pdf/13017_2017_Article_150.pdf doi: 10.1186/s13017-017-0150-5

5. Strand-Amundsen RJ, Reims HM, Reinholt FP, Ruud TE, Yang R, Høgetveit JO, et al. Ischemia/reperfusion injury in porcine intestine – Viability assessment. World J Gastroenterol. 2018;24(18):2009-23. doi: 10.3748/wjg.v24.i18.2009

6. Patel Z, Thaha MA, Kyriacou PA. The effects of optical sensor-tissue separation in endocavitary photoplethysmography. Physiol Meas [Internet]. 2018[cited 2023 May 21];39(7):075001. Available from: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6579/aacc1d doi: 10.1088/1361-6579/aacc1d

7. Sugiura T, Okumura K, Matsumoto J, Sakaguchi M, Komori T, Ogi T, et al. Predicting intestinal viability by consecutive photoacoustic monitoring of oxygenation recovery after reperfusion in acute mesenteric ischemia in rats. Sci Rep [Internet]. 2021[cited 2023 May 20];11(1):19474. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8484661/pdf/41598_2021_Article_98904.pdf doi: 10.1038/s41598-021-98904-x

8. Suzuki Y, Yamamoto M, Sugiyama K, Akai T, Suzuki K, Kawamura T, et al. Usefulness of a finger-mounted tissue oximeter with near-infrared spectroscopy for evaluating the intestinal oxygenation and viability in rats. Surg Today. 2021;51(6):931-40. doi: 10.1007/s00595-020-02171-8

9. Khosrawipour T, Li S, Steward E, Chaudhry H, Nguyen D, Khosrawipour V, et al. Assessment of Anastomotic Viability With Spectroscopic Real-time Oxygen Saturation Measurement in a Porcine Study. Surg Innov [Internet]. 2022[cited 2023 May 21]:15533506221127378. Available from: https://journals.sagepub.com/doi/epub/10.1177/15533506221127378 doi: 10.1177/15533506221127378

10. Vaassen HGM, Sprakel J, Lips DJ. Fluorescence angiography to assess intestinal viability during emergency laparoscopy for small bowel obstruction-A video vignette. Colorectal Dis. 2022;24(11):1444-5. doi: 10.1111/codi.16214

11. Ahmed T, Pai MV, Mallik E, Varghese GM, Ashish S, Acharya A, et al. Applications of indocyanine green in surgery: A single center case series. Ann Med Surg (Lond) [Internet]. 2022[cited 2023 May 20];77:103602. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9142393/pdf/main.pdf doi: 10.1016/j.amsu.2022.103602

12. Joosten JJ, Longchamp G, Khan MF, Lameris W, van Berge Henegouwen MI, Bemelman WA, et al. The use of fluorescence angiography to assess bowel viability in the acute setting: an international, multi-centre case series. Surg Endosc. 2022;36(10):7369-75. doi: 10.1007/s00464-022-09136-7

13. Wildeboer A, Heeman W, van der Bilt A, Hoff C, Calon J, Boerma EC, et al. Laparoscopic Laser Speckle Contrast Imaging Can Visualize Anastomotic Perfusion: A Demonstration in a Porcine Model. Life (Basel) [Internet]. 2022[cited 2023 May 19];12(8):1251. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9409722/pdf/life-12-01251.pdf doi: 10.3390/life12081251

14. Faingold R. Technical aspects of abdominal ultrasound and color Doppler assessment of bowel viability in necrotizing enterocolitis. Pediatr Radiol. 2018;48(5):617-9. doi: 10.1007/s00247-018-4077-0

15. Гринчук ФВ, Преутесей ВВ, Білоокий ВВ, Бродовський СП, Якобчук СО. Експериментальне дослідження люмінесцентних властивостей стінок кишок. Буковинський медичний вісник. 2011;15(1):124-6.

16. Hou J, Strand-Amundsen R, Hødnebø S, Tønnessen TI, Høgetveit JO. Assessing Ischemic Injury in Human Intestine Ex Vivo with Electrical Impedance Spectroscopy. J Electr Bioimpedance. 2021;12(1):82-8. doi: 10.2478/joeb-2021-0011

17. McInerney N, Khan MF, McLoughlin J, Shields C, Eaton D, Cahill RA. Emergency perioperative near-infrared assessment of small bowel viability in a case of incarcerated diaphragmatic hernia – a video vignette. Colorectal Dis. 2021;23(8):2204-5. doi: 10.1111/codi.15726

18. Hou J, Strand-Amundsen R, Tronstad C, Tønnessen TI, Høgetveit JO, Martinsen ØG. Small intestinal viability assessment using dielectric relaxation spectroscopy and deep learning. Sci Rep. 2022;12(1):3279. doi: 10.1038/s41598-022-07140-4

19. Гринчук АФ, Гринчук ФВ, Полянський ІЮ. Об'єктивна діагностика поширеності гострого перитоніту. Харківська хірургічна школа. 2017;1:31-4.

References

1. Surek A, Gemici E, Ferahman S, Karli M, Bozkurt MA, Dural AC, et al. Emergency surgery of the abdominal wall hernias: risk factors that increase morbidity and mortality-a single-center experience. Hernia. 2021;25(3):679-88. doi: 10.1007/s10029-020-02293-5

2. Johnson WR, Hawkins AT. Large Bowel Obstruction. Clin Colon Rectal Surg. 2021 Jul;34(4):233-241. doi: 10.1055/s-0041-1729927

3. Detz DJ, Podrat JL, Castro JCM, Lee YK, Zheng F, Purnell S, et al. Small bowel obstruction. Curr Probl Surg [Internet]. 2021[cited 2023 May 19];58(7):100893. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011384020301635?via%3Dihub doi: 10.1016/j.cpsurg.2020.100893

4. Bala M, Kashuk J, Moore EE, Kluger Y, Biffl W, Gomes CA, et al. Acute mesenteric ischemia: guidelines of the World Society of Emergency Surgery. World J Emerg Surg [Internet]. 2017[cited 2023 May 21];12:38. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5545843/pdf/13017_2017_Article_150.pdf doi: 10.1186/s13017-017-0150-5

5. Strand-Amundsen RJ, Reims HM, Reinholt FP, Ruud TE, Yang R, Høgetveit JO, et al. Ischemia/reperfusion injury in porcine intestine – Viability assessment. World J Gastroenterol. 2018;24(18):2009-23. doi: 10.3748/wjg.v24.i18.2009

6. Patel Z, Thaha MA, Kyriacou PA. The effects of optical sensor-tissue separation in endocavitary photoplethysmography. Physiol

Meas [Internet]. 2018[cited 2023 May 21];39(7):075001. Available from: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6579/aacc1d doi: 10.1088/1361-6579/aacc1d

7. Sugiura T, Okumura K, Matsumoto J, Sakaguchi M, Komori T, Ogi T, et al. Predicting intestinal viability by consecutive photoacoustic monitoring of oxygenation recovery after reperfusion in acute mesenteric ischemia in rats. Sci Rep [Internet]. 2021[cited 2023 May 20];11(1):19474. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8484661/pdf/41598_2021_Article_98904.pdf doi: 10.1038/s41598-021-98904-x

8. Suzuki Y, Yamamoto M, Sugiyama K, Akai T, Suzuki K, Kawamura T, et al. Usefulness of a finger-mounted tissue oximeter with near-infrared spectroscopy for evaluating the intestinal oxygenation and viability in rats. Surg Today. 2021;51(6):931-40. doi: 10.1007/s00595-020-02171-8

9. Khosrawipour T, Li S, Steward E, Chaudhry H, Nguyen D, Khosrawipour V, et al. Assessment of Anastomotic Viability With Spectroscopic Real-time Oxygen Saturation Measurement in a Porcine Study. Surg Innov [Internet]. 2022[cited 2023 May 21]:15533506221127378. Available from: https://journals.sagepub.com/doi/epub/10.1177/15533506221127378 doi: 10.1177/15533506221127378

10. Vaassen HGM, Sprakel J, Lips DJ. Fluorescence angiography to assess intestinal viability during emergency laparoscopy for small bowel obstruction-A video vignette. Colorectal Dis. 2022;24(11):1444-5. doi: 10.1111/codi.16214

11. Ahmed T, Pai MV, Mallik E, Varghese GM, Ashish S, Acharya A, et al. Applications of indocyanine green in surgery: A single center case series. Ann Med Surg (Lond) [Internet]. 2022[cited 2023 May 20];77:103602. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9142393/pdf/main.pdf doi: 10.1016/j.amsu.2022.103602

12. Joosten JJ, Longchamp G, Khan MF, Lameris W, van Berge Henegouwen MI, Bemelman WA, et al. The use of fluorescence angiography to assess bowel viability in the acute setting: an international, multi-centre case series. Surg Endosc. 2022;36(10):7369-75. doi: 10.1007/s00464-022-09136-7

13. Wildeboer A, Heeman W, van der Bilt A, Hoff C, Calon J, Boerma EC, et al. Laparoscopic Laser Speckle Contrast Imaging Can Visualize Anastomotic Perfusion: A Demonstration in a Porcine Model. Life (Basel) [Internet]. 2022[cited 2023 May 19];12(8):1251. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9409722/pdf/life-12-01251.pdf doi: 10.3390/life12081251

14. Faingold R. Technical aspects of abdominal ultrasound and color Doppler assessment of bowel viability in necrotizing enterocolitis. Pediatr Radiol. 2018;48(5):617-9. doi: 10.1007/s00247-018-4077-0

15. Hrynchuk FV, Preutesei VV, Bilo'okyi VV, Brodovs'kyi SP, Yakobchuk SO. Eksperymental'ne doslidzhennia liuminestsentnykh vlastyvostei stinok kyshok [A pilot study of the luminescent properties of the bowel walls]. Bukovinian Medical Herald. 2011;15(1):124-6. (Ukrainian)

16. Hou J, Strand-Amundsen R, Hødnebø S, Tønnessen TI, Høgetveit JO. Assessing Ischemic Injury in Human Intestine Ex Vivo with Electrical Impedance Spectroscopy. J Electr Bioimpedance. 2021;12(1):82-8. doi: 10.2478/joeb-2021-0011

17. McInerney N, Khan MF, McLoughlin J, Shields C, Eaton D, Cahill RA. Emergency perioperative near-infrared assessment of small bowel viability in a case of incarcerated diaphragmatic hernia – a video vignette. Colorectal Dis. 2021;23(8):2204-5. doi: 10.1111/codi.15726

18. Hou J, Strand-Amundsen R, Tronstad C, Tønnessen TI, Høgetveit JO, Martinsen ØG. Small intestinal viability assessment using dielectric relaxation spectroscopy and deep learning. Sci Rep. 2022;12(1):3279. doi: 10.1038/s41598-022-07140-4

19. Grynchuk AF, Grynchuk FV, Poliansky IJu. Ob'iektyvna diahnostyka poshyrenosti hostroho perytonitu [Objective diagnostics of the acute peritonitis spread]. Kharkiv Surgical School. 2017;1:31-4. (Ukrainian)

Відомості про авторів:

Шурма А. І. – аспірант кафедри хірургії № 1, Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна.

E-mail: shurma.andrii@bsmu.edu.ua

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-9361-5981.

Гринчук Ф. В. – д.мед.н., професор кафедри хірургії № 1, Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна.

E-mail: fedir.grynchhuk@bsmu.edu.ua

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7482-442X.

Information about authors:

Shurma A. I. – graduate student of the Department of Surgery № 1, Bukovynian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.

E-mail: shurma.andrii@bsmu.edu.ua

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-9361-5981.

Grynchuk F. V. – MD, DSc, Professor of the Department of Surgery № 1, Bukovynian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.

E-mail: fedir.grynchhuk@bsmu.edu.ua

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7482-442X.

Стаття надійшла до редакції 02.03.2023

© А. І. Шурма, Ф. В. Гринчук