

# Інтраопераційна флуоресцентна візуалізація анатомічних структур у ближньому інфрачервоному діапазоні у загальнохірургічній та урологічній практиці

О. М. Чайка<sup>DB\* A-F</sup>, В. Ю. Ільїна-Стогнієнко<sup>DB D,E</sup>, Давіті Очігава<sup>DB C</sup>

Одеський національний медичний університет, Україна

A – концепція та дизайн дослідження; B – збір даних; C – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; E – редагування статті; F – остаточне затвердження статті

## Ключові слова:

інтраопераційна флуоресцентна візуалізація, ближній інфрачервоний діапазон, діагностика, прогнозування, хірургія, урологія.

Запорізький медичний журнал.  
2024. Т. 26, № 2(143).  
С. 144-148

\*E-mail:  
urolog.chaika@gmail.  
com

## Keywords:

fluorescence imaging, NIR spectroscopy, diagnosis, prognosis, surgery, urology.

Zaporozhye medical journal.  
2024;26(2):144-148

**Мета роботи** – аналіз сучасної фахової літератури для оцінювання застосування інтраопераційної флуоресцентної візуалізації анатомічних структур у ближньому інфрачервоному діапазоні в загальнохірургічній та урологічній практиці.

Проаналізували досвід застосування інтраопераційної флуоресцентної візуалізації анатомічних структур у ближньому інфрачервоному діапазоні в загальнохірургічній та урологічній практиці. Визначили пріоритетні напрями застосування методу, здійснили аналіз останніх клінічних досліджень у різних галузях хірургії та урології.

**Висновки.** Найбільш перспективним є застосування флуоресцентної візуалізації анатомічних структур у ближньому інфрачервоному діапазоні насамперед у зонах рясної васкуляризації та під час оцінювання прогнозу при онкопатології.

## Intraoperative near-infrared fluorescence visualization of anatomical structures in general surgical and urological practice

O. M. Chaika, V. Yu. Ilyina-Stognienko, Daviti Ochigava

**Aim:** to analyze current literature on the assessment of intraoperative near-infrared fluorescence visualization of anatomical structures in general surgical and urological practice.

The experience of using intraoperative near-infrared fluorescence visualization of anatomical structures in general surgical and urological practice is analyzed. The priority areas of the method application are defined, the recent clinical studies in various fields of surgery and urology are reviewed.

**Conclusions.** The method of intraoperative near-infrared fluorescence imaging of anatomical structures with abundant vascularization and for assessing oncological prognosis is the most promising.

Спектроскопія в ближньому інфрачервоному діапазоні (NIRS) є неінвазивним оптичним методом оцінювання стану оксигенації та гемодинаміки різних органів. Електромагнітні хвилі з довжиною від 650 нм до 1350 нм проникають глибше в тканини і з меншим ослабленням, ніж видиме світло. Хвилі ближнього інфрачервоного діапазону також добре поглинаються багатьма біологічно значущими молекулами, як-от гемоглобіном, а також деякими флуоресцентними сполуками [1,2,3]. Це дає змогу використовувати метод як інструмент моніторингу та діагностики стану мозку та скелетних м'язів. Втім також накопичено досвід застосування NIRS у практиці функціональної урології, зокрема для оцінювання дисфункції нижніх сечових шляхів [4,5].

Значно перспективнішою вважають можливість реєстрації флуоресценції деяких речовин у спектрі світлового діапазону, близького до інфрачервоного, для оцінювання наявності метастатичного поширення пухлин [2]. Клінічне застосування ближньої інфрачервоної флуоресценції (NIRF) з технологією індоціаніну зеленого (ICG) швидко розвивається та поширюється. Так, технологію NIRF застосовують в онкоурології: ICG-маркування повністю ендоефітних пухлин нирок, визначених для часткової нефректомії, оцінювання ступеня стабільності тромбу під час тромбектомії лейоміосаркоми нижньої порожнистої вени рівня III, ідентифікація функціонуючих

аденом під час операції на надниркових залозах, оцінювання васкуляризації сечоводу під час робот-асистованої радикальної цистектомії та під час реімплантації сечоводу, ідентифікація уретри та еякуляційних протоків під час простатектомії за Мадіганом [4,6,7,8].

## Мета роботи

Аналіз сучасної фахової літератури для оцінювання застосування інтраопераційної флуоресцентної візуалізації анатомічних структур у ближньому інфрачервоному діапазоні в загальнохірургічній та урологічній практиці.

Технологію NIRF-ICG визначають як безпечну та технічно бездоганну процедуру. Цей метод дає змогу легко ідентифікувати ключові анатомічні орієнтири, даючи інформацію про васкулатуру (судинну мережу) та перфузію тканин. Показано, що техніка NIRF-ICG потенційно покращує функціональні результати робототехнічних процедур, навіть якщо потрібні більші серії з тривалішим спостереженням [2,3,9].

Перші пристрої NIRS передбачали безперервне живлення від лазера, світлові хвилі потрібної частоти генерувалися лазером [2,5]. Ці системи були чутливими завдяки датчикам високої роздільної здатності, але мали обмежене клінічне застосування через великий розмір і високу вартість. З появою систем на основі

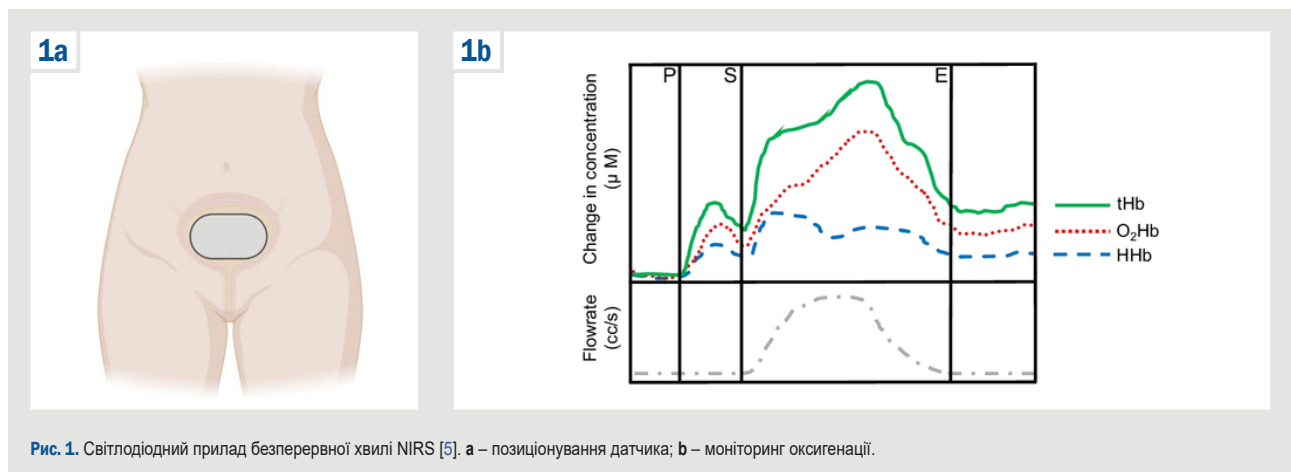


Рис. 1. Світлодіодний прилад безперервної хвилі NIRS [5]. а – позиціонування датчика; б – моніторинг оксигенації.

світлодіодів вдалося досягти оптимальних технічних параметрів із застосуванням телеметричних підходів. Нині розроблено світлодіодні прилади безперервної хвилі NIRS, що застосовують для моніторингу змін оксигенації та гемодинаміки в режимі реального часу під час наповнення та спорожнення сечового міхура. Ці пристрої зазвичай накладають на шкіру, поперек середньої лінії нижньої частини живота вище від симфізу (рис. 1) [5].

Метод можна застосовувати разом з комплексним уродинамічним дослідженням, що значно підвищує його діагностичну цінність при різних видах урологічної патології (обструкція вихідного отвору сечового міхура, гіперактивний сечовий міхур, недостатність детрузора, нейрогенна інконтиненція, інфекції нижніх сечовивідних шляхів, інтерстиціальний цистит тощо) [4,10].

Флуоресцентне зображення NIR має кілька переваг. Першою з-поміж них є низька швидкість всмоктування в тканинах людини. Поглинання світла гемоглобіном і водою може зменшити яскравість і ефективність зображення. Спектр NIR знаходиться в області, де довжина хвилі становить близько 800 нм. Він має мінімальне поглинання порівняно з іншими довжинами хвиль. По-друге, цей діапазон NIR має низьке розсіювання в тканинах, що призводить до глибокого проникнення. По-третє, автофлуоресценція в ближньому інфрачервоному діапазоні низька. Автофлуоресценція особливо висока у світла з довжиною хвилі менше ніж 600 нм. Це відбувається завдяки багатьом ендogenous флуорофорам: гемоглобіну, міоглобіну та цитохромам. Отже, довжини хвиль NIR забезпечують меншу автофлуоресценцію, глибше проникнення в тканини та легше відокремлюються від стандартного відбиття білого світла. Тому він підходить для інтраопераційної візуалізації в реальному часі [1,11].

Барвники NIRF класифікують за кількома категоріями, включаючи ціаніни, аналоги родаміну, 4,4-дифтор-4-бор-3а,4а-діазо-5-індацен (BODIPY), скварейни, фталоціаніни, похідні порфірину та інші споріднені барвники [1,2].

Зелений індоціанін – водорозчинний аніонний амфифільний флуорофор, особливо перспективний для інтраопераційної візуалізації завдяки збудженню ( $\lambda_{ex} = 778$  нм) і випромінюванню ( $\lambda_{em} = 830$  нм). ICG, який має здатність до флуоресценції при 800 нм, є єдиним контрастним агентом ближнього інфрачервоного

випромінювання, що схвалений FDA та Європейським агентством з лікарських засобів (EMA) при невеликій кількості показань у хірургії [12]. ICG розроблений задовго до «єри» інфрачервоної візуалізації – під час Другої світової війни, отримав схвалення FDA у 1959 році. Спочатку його використовували передусім для діагностики функції печінки, пізніше – в офтальмології та кардіології [2,13]. Показано, що ICG має мінімальну токсичність. Клінічний досвід використання ICG для інтраопераційної флуоресцентної візуалізації NIR є досить великим і підтверджує сприятливий профіль безпеки [3,14,15].

Протягом останніх кількох років академічні та промислові групи розробили різні системи для інтраопераційної флуоресцентної візуалізації у спектрі, близькому до інфрачервоного. На додаток до систем для відкритої хірургії, NIR-флуоресцентна візуалізація доступна для лапароскопічної, торакокопічної та роботизованої хірургії, більшість із них є першою ітерацією розробки виробничого рівня. Специфічні проблеми для цих систем включають потребу в оптимізованих джерелах світла для забезпечення достатнього збудження флуоресценції та в оптиці з низьким затуханням світла NIR для виявлення низьких концентрацій флуорофорів [16,17,18].

Нині розроблено кілька доступних камер NIR для отримання зображень для інтраопераційного використання: Artemis (Quest Medical Imaging Inc., Middenmeer, Нідерланди), PINPOINT (Novadaq Inc., Онтаріо, Канада), пристрій Karl Storz PPD і систему Firefly (Intuitive Inc.), Саннівейл, Каліфорнія, США) [2,3].

В останнє десятиліття дослідження звичайного ближнього інфрачервоного вікна (NIR-I, 750–900 нм) поступово зосередилися на другому ближньому інфрачервоному вікні (NIR-II, 1000–1700 нм). Завдяки зменшеному розсіюванню світла, поглинанню фотонів і автофлуоресценції, флуоресцентне зображення NIR-II значно покращує глибину проникнення та співвідношення сигнал / шум у біозображенні. Нещодавно у кількох дослідженнях застосували візуалізацію NIR-II для навігації в хірургії раку, включаючи локалізацію пухлини, оцінювання операційних країв, моніторинг лімфатичних вузлів і картографування важливих анатомічних структур [15].

В ідеалі нові інструменти працюватимуть із кількома довжинами хвиль у діапазоні від видимого до інфрачервоного світла, враховуючи широкий спектр молекулярно націлених зондів, що розробляють, бажаність кон-

трастного забарвлення здорової тканини і можливість радіометричної дискримінації [18,19].

Зазначимо, що більшість із наведених систем мають змогу отримати зображення у ближньому інфрачервоному діапазоні близько 800 нм, що є довжиною хвилі збудження ICG [1,2,3,15].

Системи візуалізації в ближньому інфрачервоному діапазоні, які нині використовують, включають систему Novadaq SPY™, Artemis™, Hamamatsu's Photodynamic Eye (PDE™), Fluobeam® від Fluoptics, функціональні інтраопераційні системи FMI, FLARE™ тощо. Більшість систем об'єднують інфрачервоні відбитки, що виглядають як контрастний колір, накладений на зображення у видимому світлі; система Storz D-light P відображає флуоресценцію NIR як одне зображення [3].

У практиці торакальної хірургії метод використовують для ідентифікації сегментної межі при втручаннях на легенях, для оцінювання перфузії під час операцій з видалення стравоходу, для ідентифікації бульозних уражень при спонтанному пневмотораксі, для візуалізації грудної протоки та лікування хілотораксу, виявлення місць витоку хілусу [1].

Ще одна можливість, яку дає застосування флуоресценції у довгохвильовому інфрачервоному діапазоні, – виявлення легеневих вузликів і солідних пухлинних тканин легенів і органів середостіння, а також ідентифікація симпатичних гангліїв під час операції з симпатектомії [1].

В останні роки спектроскопія ближнього інфрачервоного діапазону поширилася на сферу педіатричної кардіохірургії, її все частіше використовують у кардіологічних відділеннях інтенсивної терапії для моніторингу оксигенації тканин під час операції [20].

В експериментальному дослідженні Y. Suh et al. вивчали можливість застосовувати індоціанін зелений як флуоресцентний агент у ближньому інфрачервоному діапазоні для ідентифікації парашитовидних залоз під час операції на щитовидній залозі [21]. Надалі у клінічних дослідженнях доведено, що автофлуоресценція ближнього інфрачервоного діапазону та ICG-флуоресценція є ефективними інструментами для покращення післяопераційної функції парашитовидної залози під час операції на щитовидній залозі [22,23,24,25].

Нормальні й аномальні тканини надниркових залоз мають природну автофлуоресценцію в ближньому інфрачервоному діапазоні. Найвищі рівні автофлуоресценції пов'язані з пухлинами, що продукують кортизол. Конфокальне зображення показало найвищу інтенсивність у сітчастій зоні. Камери випромінювання, близького за спектром до інфрачервоного, можуть потенційно покращити ідентифікацію тканини надниркових залоз під час операції [8,23].

Індоціанін зелений з флуоресцентною візуалізацією можна безпечно й ефективно використовувати для інтраопераційного лімфатичного картування в режимі реального часу в пацієнтів із раком молочної залози. ICG має подібні до  $^{99m}\text{Tc}$  результати щодо кількості ідентифікованих сторожових лімфатичних вузлів, частоти невдалих картувань та ідентифікації лимфовузлів з ознаками метастатичного ураження [19,26,27,28,29,30,31].

Флуоресцентне зображення, одержане у спектрі, що близький до інфрачервоного, за допомогою синього

барвника має переваги для ідентифікації лімфатичних судин, розташування сторожових лімфатичних вузлів і побудови моделей лімфоток молочної залози [19,26,28].

Близька інфрачервона флуоресценція з використанням індоціаніну зеленого є корисною для візуального оцінювання кровоносних судин, кровотоку та перфузії тканин, біопсії сторожових лімфатичних вузлів, картування лімфатичних вузлів, ідентифікації судинної системи навколо великих судин і виявлення сечоводів для визначення можливості зменшити ризик ятрогенного ураження сечоводу в колоректальній хірургії [20,32].

В абдомінальній хірургії основними перевагами від застосування флуоресцентного контрастування є оцінювання перфузії органів при накладанні кишкового анастомозу, краща візуалізація анатомічних структур при втручаннях на структурах гепатобіліарної зони, маркування дефектів шлунково-кишкового тракту [2,33,34,35].

Флуоресцентне зображення в ближньому інфрачервоному діапазоні з ICG є доцільним і актуальним в онкохірургії. Його найбільш релевантним застосуванням у хірургії раку шлунка є навігаційна хірургія сторожових вузлів, картування лімфатичних вузлів під час лімфаденектомії, визначення судинної анатомії та оцінювання анастомотичної перфузії. Зображення NIRF з використанням ICG застосовують також для візуалізації пухлини та жовчного дерева під час втручання із приводу раку жовчного міхура [35], а також пухлин підшлункової залози [36].

В огляді O. Bin-Alamer et al. наведено сучасні підходи до інтраопераційної візуалізації в нейрохірургічній практиці, зокрема застосування ICG та інших вітальних барвників [37].

Флуоресцентна візуалізація NIR/ICG може бути корисною під час трансплантації нирки для інтраопераційного оцінювання перфузії алотрансплантату, особливо у складних випадках з кількома нирковими артеріями та судинними реконструкціями. NIRF-зображення внутрішньовенно введеного ICG дає змогу чітко ідентифікувати ниркові гілярні судини та допомагає селективно перетискати артерії. Внутрішньовенне застосування ICG у поєднанні з NIRF є безпечним під час відкритих операцій на нирках. Ця технологія дає змогу хірургові відрізнити пухлини ниркової кори від нормальної тканини та показує ниркову судинну мережу з потенціалом для максимального онкологічного контролю, збереження нефронів під час відкритої часткової нефректомії [6,7,8,11,38]. Флуоресцентну візуалізацію в ближньому інфрачервоному діапазоні з індоціаніном зеленим застосовують і в робот-асистованій хірургії [39].

## Висновки

Найбільш перспективним є застосування флуоресцентної візуалізації анатомічних структур у ближньому інфрачервоному діапазоні насамперед у зонах рясної васкуляризації та під час оцінювання прогнозу при онкопатології.

**Перспективи подальших досліджень** пов'язані зі здійсненням клінічного дослідження для оцінювання діагностичної цінності флуоресцентної візуалізації анатомічних структур під час лікування злоякісних пухлин нирок.

**Конфлікт інтересів:** відсутній.

**Conflicts of interest:** authors have no conflict of interest to declare.

Надійшла до редакції / Received: 20.11.2023

Після доопрацювання / Revised: 14.12.2023

Схвалено до друку / Accepted: 22.12.2023

### Відомості про авторів:

Чайка О. М., канд. мед. наук, доцент каф. хірургії, Одеський національний медичний університет, Україна.

ORCID ID: 0000-0001-7540-143X

Ільїна-Стогнієнко В. Ю., канд. мед. наук, доцент каф. загальної, дитячої та військової хірургії з курсом урології, Одеський національний медичний університет, Україна.

ORCID ID: 0000-0002-0564-9621

Очігава Давіт, інтерн, Центр реконструктивної та відновної медицини (Університетська клініка), Одеський національний медичний університет, Україна.

ORCID ID: 0009-0008-6613-6855

### Information about the authors:

Chaika O. M., MD, PhD, Associate Professor of the Department of Surgery, Odessa National Medical University, Ukraine.

Ilyina-Stognienko V. Yu., MD, PhD, Associate Professor of the Department of General, Pediatric and Military Surgery with a course of Urology, Odesa National Medical University, Ukraine.

Ochigava Davit, MD, Intern, Center for Reconstructive and Restorative Medicine (University Clinic), Odessa National Medical University, Ukraine.

### References

- Ali J, Cody J, Maldonado Y, Ramakrishna H. Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) for Cerebral and Tissue Oximetry: Analysis of Evolving Applications. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2022;36(8 Pt A):2758-66. doi: 10.1053/j.jvca.2021.07.015
- Bertolaccini L, Ciani O. Editorial: Near-infrared fluorescence guided surgery: State of the evidence from a health technology assessment perspective. *Front Surg.* 2023;10:1176124. doi: 10.3389/fsurg.2023.1176124
- Sakudo A. Near-infrared spectroscopy for medical applications: Current status and future perspectives. *Clin Chim Acta.* 2016;455:181-8. doi: 10.1016/j.cca.2016.02.009
- Kang BI, Kim A, Kim S. Advancing Patient Care: Innovative Use of Near-Infrared Spectroscopy for Monitoring Urine Volume in Neurogenic Bladder. *Int Neurourol J.* 2023;27(Suppl 1):S27-33. doi: 10.5213/inj.2346100.050
- Koven A, Herschorn S. NIRS: Past, Present, and Future in Functional Urology. *Curr Bladder Dysfunct Rep.* 2022;17(4):241-9. doi: 10.1007/s11884-022-00665-4
- Dumanskiy UV, Balashova OI, Reshetniak SO, Kavetsky RE. [Retroperitoneoscopic kidney resection with preoperative selective embolization and fluorescent visualization of renal vessels. Analysis of postoperative Complications]. *Hospital Surgery. Journal Named by L.Y. Kovalchuk.* 2020;3:55-62. Ukrainian. doi: 10.11603/2414-4533.2020.3.11214
- Dumanskiy UV, Diachenko AM, Reshetniak SA, Freigofer MV. [The first experience of using super-selective X-ray vascular embolization and intraoperative fluorescence imaging in the surgical treatment of localized kidney cancer]. *Klinichna onkologhiia.* 2019;9(3):175-8. Ukrainian. doi: 10.32471/clinicaloncology.2663-466X.4.23130
- Mastroianni R., Tuderti G., Anceschi U., Bove A., Brassetti A., Ferrero M., et al. V10-07 Near-infrared fluorescence imaging technology applications in urologic surgery. *The Journal of urology.* 2022;207(Suppl 5):e850 doi: 10.1097/JU.0000000000002623.07
- Malinovsky AV, Mayorenko MM, Sergieva AS. [Fluorescence angiography for blood flow assess during right hemicolectomy. Case study]. *Khirurgiia Ukrainy.* 2018;2:78-81. Ukrainian.
- Hafid A, Difallah S, Alves C, Abdullah S, Folke M, Lindén M, et al. State of the Art of Non-Invasive Technologies for Bladder Monitoring: A Scoping Review. *Sensors (Basel).* 2023;23(5):2758. doi: 10.3390/s23052758
- Aslim EJ, Lee FJ, Gan VHL. The Utility of Intraoperative Near Infrared Fluorescence (NIR) Imaging with Indocyanine Green (ICG) for the Assessment of Kidney Allograft Perfusion. *J Transplant.* 2018;2018:6703056. doi: 10.1155/2018/6703056
- Center for Drug Evaluation and Research. *Spa Agency Green Powder for Solution, 25 mg/vial AN211580Orig1s000.* 2018 [cited 2024 Jan 14]. Available from: [https://www.accessdata.fda.gov/drugsatfda\\_docs/label/2018/211580s000lbl.pdf](https://www.accessdata.fda.gov/drugsatfda_docs/label/2018/211580s000lbl.pdf)
- Indocyanine green angiography – EyeWiki [Internet]. Aao.org. [cited 2024 Jan 14]. Available from: [https://eyewiki.aao.org/Indocyanine\\_Green\\_Angiography](https://eyewiki.aao.org/Indocyanine_Green_Angiography)
- Belia F, Biondi A, Agnes A, Santocchi P, Laurino A, Lorenzon L, et al. The Use of Indocyanine Green (ICG) and Near-Infrared (NIR) Fluorescence-Guided Imaging in Gastric Cancer Surgery: A Narrative Review. *Front Surg.* 2022;9:880773. doi: 10.3389/fsurg.2022.880773
- Yang RQ, Lou KL, Wang PY, Gao YY, Zhang YQ, Chen M, et al. Surgical Navigation for Malignancies Guided by Near-Infrared-II Fluorescence Imaging. *Small Methods.* 2021;5(3):e2001066. doi: 10.1002/smid.202001066
- Demarchi MS, Karenovics W, Bédar B, Triponez F. Near-infrared fluorescent imaging techniques for the detection and preservation of parathyroid glands during endocrine surgery. *Innov Surg Sci.* 2021;7(3-4):87-98. doi: 10.1515/iss-2021-0001
- Nourelidine SI, Nazli Avci S, Isiktas G, Ergun O, Elshamy M, Berber E. Detection of near-infrared autofluorescence from adrenal neoplasms: An initial experience. *J Surg Oncol.* 2022;126(2):257-62. doi: 10.1002/jso.26863
- Rajan N, Scoville SD, Zhang T, Dedhia PH, Miller BS, Ringel MD, et al. Adrenal Near-Infrared Autofluorescence. *J Endocr Soc.* 2022;6(10):bvac126. doi: 10.1210/endo/bvac126
- Van Den Hoven P, Verduijn PS, Van Capelle L, Tange FP, Michi M, Corion LUM, et al. Quantification of near-infrared fluorescence imaging with indocyanine green in free flap breast reconstruction. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2022;75(6):1820-5. doi: 10.1016/j.bjps.2021.12.004
- Ghanayem NS, Hoffman GM. Near Infrared Spectroscopy as a Hemodynamic Monitor in Critical Illness. *Pediatr Crit Care Med.* 2016;17(8 Suppl 1):S201-6. doi: 10.1097/PCC.0000000000000780
- Suh YJ, Choi JY, Chai YJ, Kwon H, Woo JW, Kim SJ, et al. Indocyanine green as a near-infrared fluorescent agent for identifying parathyroid glands during thyroid surgery in dogs. *Surg Endosc.* 2015;29(9):2811-7. doi: 10.1007/s00464-014-3971-2
- Moreno-Llorente P, García-González G, Pascua-Solé M, García-Barraza A, Videla S, Muñoz-de-Nova JL, et al. Indocyanine green angiography-guided thyroidectomy versus conventional thyroidectomy for preserving parathyroid function: study protocol for a randomized single-blind controlled trial. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2023;14:1193900. doi: 10.3389/fendo.2023.1193900
- Parfentiev R, Grubnik V, Grubnik V, Bugridze Z, Giushvili S, Beselia L. Study of intraoperative indocyanine green angiography effectiveness for identification of parathyroid glands during total thyroidectomy. *Georgian Med News.* 2021;(314):26-9.
- Quééré J, Potard G, Le Penne R, Marianowski R, Leclere JC. Limited contribution of indocyanine green (ICG) angiography for the detection of parathyroid glands and their vascularization during total thyroidectomy: A STROBE observational study. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* 2022;139(5):275-9. doi: 10.1016/j.anorl.2022.02.004
- Rossi L, Vasquez MC, Pieroni E, Ambrosini CE, Miccoli M, Cetani F, et al. Indocyanine green fluorescence and near-infrared autofluorescence may improve post-thyroidectomy parathyroid function. *Surgery.* 2023;173(1):124-31. doi: 10.1016/j.surg.2022.06.042
- Nikitenko RP, Vorotyntseva KO. [Preparing sentinel lymph nodes for breast cancer as a marker for prognosis]. In: *Modern ways of solving the latest problems in science. Proceedings of the 37th International scientific and practical conference; 2022 Sep 20-23; Varna, Bulgaria.* 2022. p. 202-4. Ukrainian.
- Budner O, Cwalinski T, Skokowski J, Marano L, Resca L, Cwalina N, Kalinowski L, Hoveling R, Roviello F, Polom K. Methylene Blue Near-Infrared Fluorescence Imaging in Breast Cancer Sentinel Node Biopsy. *Cancers (Basel).* 2022;14(7):1817. doi: 10.3390/cancers14071817
- Jiang L, Liu T, Wang X, Li J, Zhao H. Real-time near-infrared fluorescence imaging mediated by blue dye in breast cancer patients. *J Surg Oncol.* 2020 May;121(6):964-966. doi: 10.1002/jso.25874
- Valente SA, Al-Hilli Z, Radford DM, Yanda C, Tu C, Grobmyer SR. Near Infrared Fluorescent Lymph Node Mapping with Indocyanine Green in Breast Cancer Patients: A Prospective Trial. *J Am Coll Surg.* 2019;228(4):672-8. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2018.12.001
- Wang Y, Jiao W, Yin Z, Zhao W, Zhao K, Zhou Y, et al. Application of near-infrared fluorescence imaging in the accurate assessment of surgical margins during breast-conserving surgery. *World J Surg Oncol.* 2022;20(1):357. doi: 10.1186/s12957-022-02827-4
- Yang P, Hu X, Peng S, Wang L, Yang L, Dong Y, et al. Near-infrared laparoscopy with indocyanine green for axillary sentinel lymph node biopsy in early breast cancer: preliminary experience of a single unit. *Gland Surg.* 2021;10(5):1677-86. doi: 10.21037/gs-21-223
- Bae SU. Near-infrared fluorescence imaging guided surgery in colorectal surgery. *World J Gastroenterol.* 2022;28(12):1284-7. doi: 10.3748/wjg.v28.i12.1284

33. Savenkov DY. Tactical and technical features of surgical treatment of rectal cancer and their improvement [dissertation on the Internet]. Dnipro: Dnipro State Medical University; 2023 [cited 2024 Jan 14]. Available from: <https://nrat.ukrintei.ua/en/searchdoc/0823U100438/>
34. Grubnik VV, Nikitenko RP, Mishchenko VV, Ilyashenko VV, Degtyarenko SP, Parfentiev RS, Kvasha AN. [Possibilities of the indocyanine green dye application for evaluation of peculiarities of lymph outflow and metastasizing of colorectal cancer]. *Klinicheskaia khirurgiia*. 2021;88(3-4):64-8. Ukrainian. doi: [10.26779/2522-1396.2021.3-4.64](https://doi.org/10.26779/2522-1396.2021.3-4.64)
35. Yu Y, Xiang L, Bai Y, Maswikiti EP, Gu B, Li X, et al. Attempt of Real-Time Near-Infrared Fluorescence Imaging Using Indocyanine Green (ICG) in Radical Resection of Gallbladder Cancer: A Case Report. *Front Surg*. 2021;8:655805. doi: [10.3389/fsurg.2021.655805](https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.655805)
36. Rompianesi G, Montalti R, Giglio MC, Ceresa CDL, Nasto RA, De Simone G, et al. Systematic review, meta-analysis and single-centre experience of the diagnostic accuracy of intraoperative near-infrared indocyanine green-fluorescence in detecting pancreatic tumours. *HPB (Oxford)*. 2022;24(11):1823-31. doi: [10.1016/j.hpb.2022.05.004](https://doi.org/10.1016/j.hpb.2022.05.004)
37. Bin-Alamer O, Abou-Al-Shaar H, Gersey ZC, Huq S, Kallos JA, McCarthy DJ, Head JR, Andrews E, Zhang X, Hadjipanayis CG. Intraoperative Imaging and Optical Visualization Techniques for Brain Tumor Resection: A Narrative Review. *Cancers (Basel)*. 2023;15(19):4890. doi: [10.3390/cancers15194890](https://doi.org/10.3390/cancers15194890)
38. Ishizawa T, McCulloch P, Stassen L, van den Bos J, Regimbeau JM, Dembinski J, et al. Assessing the development status of intraoperative fluorescence imaging for anatomy visualisation, using the IDEAL framework. *BMJ Surg Interv Health Technol*. 2022;4(1):e000156. doi: [10.1136/bmjsit-2022-000156](https://doi.org/10.1136/bmjsit-2022-000156)
39. Veccia A, Antonelli A, Hampton LJ, Greco F, Perdonà S, Lima E, et al. Near-infrared Fluorescence Imaging with Indocyanine Green in Robot-assisted Partial Nephrectomy: Pooled Analysis of Comparative Studies. *Eur Urol Focus*. 2020;6(3):505-12. doi: [10.1016/j.euf.2019.03.005](https://doi.org/10.1016/j.euf.2019.03.005)