

Станіслав ПОПОВ, аспірант,

Олексій ЛЕБЕДЄВ, д-р техн. наук, проф.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна,
e-mail: meastrojoshi@gmail.com

ОГЛЯД КОНТАКТНОГО, ЛАЗЕРНОГО ТА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ЖИВИХ ТКАНИН

Анотація. У даній роботі описуються сучасні методи зварювання живих тканин, які використовуються в хірургії. Автори порівнюють переваги та недоліки трьох основних методів. Контактне зварювання, яке засноване на використанні високочастотного електричного струму для денатурації білків і утворення міцного з'єднання. Лазерне зварювання тканин (ЛЗТ), що використовує лазерну енергію для нагрівання та коагуляції тканин. Ультразвукова хірургія, в якій застосовуються ультразвукові хвилі для з'єднання тканин, а також для руйнування пухлин, спаювання тканин, тощо. Також описуються перспективні напрямки розвитку даних технологій, наприклад, використання ультразвуку в стоматології (ультразвуковий скальпель); високочастотне електрохірургічне зварювання для відновлення цілісності стовбурових клітин нервів; лазерне зварювання в стоматології; ультразвукове зварювання для фіксації біорозкладаних пластин при переломах нижньої щелепи у дітей; високочастотне зварювання живих тканин (HF LTW) в дитячій хірургії легенів; електрозварювання для накладення колоректального анастомозу; лазерне зварювання аргонним лазером для з'єднання стінок кишечника; лазерне зварювання з нанокompозитним матеріалом для герметизації розривів тонкого кишечника.

Ключові слова: хірургія, контактне зварювання, лазерне зварювання, ультразвукове зварювання.

Актуальність дослідження

Сьогодні різні типи зварювання живих тканин розглядаються роздільно або розділені по спорідненим групам. Це викликає проблеми із систематизацією наукових знань, що є невід'ємною частиною науки. Дане дослідження покликане на збір, впорядкування та аналіз знань у галузях контактного, лазерного та ультразвукового методів зварювання живих тканин.

Мета дослідження

Огляд, узагальнення та порівняння актуальних методів зварювання живих тканин.

Основні матеріали досліджень

Одним із поширених методів є контактне зварювання, яке використовує високочастотний електричний струм. В.Е. Патон стверджує, що міцність з'єднання при цьому методі обумовлена термічною денатурацією білків, структурною трансформацією та утворенням колоїдного матеріалу. Е.А. Крамер додає, що під впливом температури 40...60 °С колаген розкручується і перетворюється на аморфні завитки пептидних ланцюгів [1].

Процес зварювання полягає в стисканні з'єднуваних тканин електродами зварювального інструменту та подачі електричного струму. Залежно від інтенсивності енергії та температури, колаген у тканині проходить через стадії «зшивання», «розкручування» та «повторного зшивання». Початковою точкою денатурації колагену вважається 40 °С, а термічного пошкодження – 60 °С [1].

Іншим методом є лазерне зварювання тканин (ЛЗТ), яке ґрунтується на перетворенні променистої енергії лазера на тепло. Це тепло денатурує білки в тканинах, що призводить до їх з'єднання. Як показали Mistry et al. (2018), ЛЗТ має певні недоліки, які обмежують його широке використання в клінічній практиці. По-перше, міцність зварного шва, отриманого за допомогою ЛЗТ, часто буває недостатньою, що потребує додаткового накладання швів. По-друге, значний термічний вплив може призвести до пошкодження тканин [2].

Для подолання цих недоліків розроблено нові методи ЛЗТ, такі як використання рідких і напівтвердих припоїв та систем контролю температури.

Ультразвукова хірургія використовує ультразвукові хвилі для різних хірургічних маніпуляцій, включаючи зварювання тканин. Muminova (2023) стверджує, що ультразвук може впливати як на самі тканини, так і на хірургічні інструменти. Ефекти ультразвукової хірургії включають руйнування пухлин, дроблення каменів у сечових шляхах, зварювання м'яких тканин і кісток (ультразвуковий остеосинтез). Ультразвук також має знеболюючий, кровоспинний та стерилізуючий ефекти [3].

Вибір методу зварювання живих тканин залежить від конкретної ситуації та потреб хірурга. Кожен з описаних методів має свої переваги та недоліки, які слід враховувати при прийнятті рішення.

Одним із методів, зокрема, ультразвукового зварювання є HIFU (високоінтенсивний фокусований ультразвук) – це перспективна технологія, яка використовує ультразвукові хвилі

високої інтенсивності для руйнування пухлинних тканин. Завдяки своїм неінвазивним можливостям та здатності мінімізувати побічні ефекти, HIFU має значний потенціал стати цінним інструментом у лікуванні раку. Багатообіцяючі результати клінічних досліджень підтверджують HIFU як дієвий метод лікування раку, особливо для пацієнтів, яким не підходять інші методи (Malietzis et al., 2013) [4].

HIFU успішно використовується для лікування раку передміхурової залози, прямої кишки, печінки, нирок, молочної залози та сечового міхура. Він також досліджується для лікування кісткових пухлин.

Деякі дослідження вивчали впровадження інноваційних технологій у галузі стоматології. Одним із напрямків є використання ультразвуку в різних стоматологічних процедурах. Mumtaz (2023) повідомляє про ефективність ультразвукового скальпеля при лікуванні пульпіту та глибокого карієсу завдяки його антибактеріальним, протизапальним властивостям та здатності покращувати метаболізм м'яких тканин [3]. Крім того, ультразвук сприяє ретельному очищенню кореневих каналів та полімеризації пломбувальних матеріалів. У сфері регенерації нервів Korsak et al. (2015) порівняли ефективність різних хірургічних методик відновлення цілісності стовбурових клітин нервів після травми периферичних нервів. Їхні висновки свідчать про те, що високочастотне електрохірургічне зварювання може бути найбільш перспективним методом завдяки мінімальному утворенню тканинних уламків, що зрештою сприяє швидшому відновленню нервів [5].

Perveen et al. (2018) та Jain et al. (2020) визнають перевагу лазерної технології над традиційними альтернативами, такими як використання припою, завдяки її точності, мінімальній інвазивності та швидшим часом операції [6, 7]. Лазерне зварювання пропонує численні переваги, включаючи високоякісні зварні шви, зменшені зони термічного впливу та підвищений комфорт пацієнта завдяки мінімальним або повністю відсутнім вимогам до анестезії. Обидва дослідження очікують на постійне вдосконалення технології лазерного зварювання, що потенційно призведе до її широкого застосування в стоматологічній сфері.

El-Saadany et al. (2015) досліджували ефективність ультразвукового зварювання для фіксації біорозкладаних пластин при переломах нижньої щелепи у дітей [8]. Їхні висновки, засновані на 8 пацієнтах, свідчать про успішне загоєння кісток, формування правильного прикусу та стійкість перелому з мінімальними ускладненнями. Ця малоінвазивна техніка має багатообіцяючий потенціал у дитячій щелепно-лицевій хірургії.

Bilokon et al. (2021) вивчали застосування високочастотного зварювання живих тканин (HF LTW) у дитячій хірургії легенів [9]. Їхнє дослідження, яке охопило 103 дитини з первинними та метастатичними пухлинами легенів, продемонструвало ефективність HF LTW для видалення пухлин, коагуляції судин та герметизації легеневої тканини. Ця безкровна та швидка техніка має переваги для різних хірургічних втручань, що включають доброякісні, злоякісні та метастатичні бронхіальні та легеневі ураження у дітей.

У дослідженні Podpriatov et al. (2018) проаналізовано результати хірургічного лікування раку прямої кишки з використанням різних методів накладення колоректального анастомозу [10]. Автори виявили, що частота неспроможності анастомозу при використанні електрозварювального методу значно нижча, ніж при традиційних методах, таких як ручний шов або зшивання механічними скріпками.

Цей результат свідчить про те, що електрозварювальний метод є більш ефективним та безпечним способом накладення колоректального анастомозу, що може призвести до покращення результатів лікування пацієнтів з раком прямої кишки.

Відновлення цілісності кишечника після хірургічного втручання є важливим етапом лікування захворювань травної системи. Традиційні методи, такі як ушивання, мають певні недоліки, як-от тривалість процедури та ризик інфекцій. У дослідженні Çilesiz et al. (1996) запропоновано інноваційний метод з'єднання стінок кишечника – лазерне зварювання аргонним лазером [11]. За допомогою системи контролю температури вдалося досягти міцного з'єднання тканин при температурі 90...95 °C. Зварювання відбувалося за рахунок термічної коагуляції колагенової підслизової оболонки та слизової оболонки.

Стандартні методи хірургічного зшивання кишечника можуть призвести до протікання в місці з'єднання, що є серйозним ускладненням, яке може призвести до інфекції. У дослідженні Çilesiz et al. (1996) запропоновано використовувати лазерне зварювання з нанокompatним матеріалом для герметизації розривів тонкого кишечника свині [11]. Цей матеріал дозволяє регулювати механічні властивості з'єднання залежно від концентрації золотих наностержнів.

У дослідженні Rabau et al. (1994) проаналізували вміст колагену та ДНК у місці з'єднання кишечника миші після лазерного зварювання та накладення швів [12]. На 4 день після операції рівень колагену та ДНК був значно нижчим у місці лазерного зварювання, ніж у місці накладення швів. На 7

та 10 день після операції рівень колагену в місці лазерного зварювання значно підвищився та перевищив рівень у місці накладення швів.

Висновки

Зварювання живих тканин – це динамічно розвиваюча галузь, яка пропонує перспективні методи хірургічного втручання. Сучасні методи, такі як контактне зварювання, лазерне зварювання тканин (ЛЗТ) та ультразвукова хірургія, вже демонструють свою ефективність у різних хірургічних процедурах.

Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки, тому вибір методу залежить від конкретної ситуації та потреб хірурга. Важливо враховувати такі фактори, як точність, швидкість, мінімально інвазивний характер та ризик пошкодження тканин.

Нові технології, такі як HIFU та ультразвуковий скальпель, відкривають нові можливості для зварювання живих тканин. Ці методи можуть розширити можливості хірургії та покращити результати для пацієнтів. Дослідження зварювання живих тканин має значний потенціал для покращення хірургічного лікування та результатів для пацієнтів. Це може призвести до скорочення часу операції, меншої кількості ускладнень, кращого загоєння ран та покращення якості життя пацієнтів.

Важливими напрямками для подальших досліджень можуть бути: розробка нових методів зварювання живих тканин з покращеними характеристиками; вивчення довгострокових результатів зварювання живих тканин; дослідження впливу зварювання живих тканин на імунну систему; розробка нових біоматеріалів для зварювання живих тканин, тощо.

Література

1. Temperature Distribution of Vessel Tissue by High Frequency Electric Welding with Combination Optical Measure and Simulation / H. Wang et al. *Biosensors*. 2022. Vol. 12, no. 4. P. 209. URL: <https://doi.org/10.3390/bios12040209> (date of access: 30.04.2024).
2. Mistry Y., Natarajan S., Ahuja S. Evaluation of laser tissue welding and laser-tissue soldering for mucosal and vascular repair. *Annals of Maxillofacial Surgery*. 2018. Vol. 8, no. 1. P. 35. URL: https://doi.org/10.4103/ams.ams_147_17 (date of access: 30.04.2024).
3. Muminova Z. A. Ultrasound and its Application. *Journal of Theory, Mathematics and Physics*. 2023. Vol. 2, no. 2. P. 11–14.
4. High-intensity focused ultrasound: advances in technology and experimental trials support enhanced utility of focused ultrasound surgery in oncology / G. Malietzis et al. *The British Journal of Radiology*. 2013. Vol. 86, no. 1024. P. 20130044. URL: <https://doi.org/10.1259/bjr.20130044> (date of access: 30.04.2024).
5. Korsak A. V. Ultrastructure of Injured Peripheral Nerve Epineurium after Surgery Using High-Frequency Electric Welding Technologies at Early Regeneration Stage. *Galician Medical Journal*. 2015. Vol. 22, no. 3. P. 157–160. URL: <https://ifnmujournal.com/index.php/gmj/article/view/399> (date of access: 30.04.2024).
6. Perveen A., Molardi C., Fornaini C. Applications of Laser Welding in Dentistry: A State-of-the-Art Review. *Micromachines*. 2018. Vol. 9, no. 5. P. 209. URL: <https://doi.org/10.3390/mi9050209> (date of access: 30.04.2024).
7. Laser Welding in Orthodontics: A Review Study / S. Jain et al. *Journal of Dental Health and Oral Research*. 2020. Vol. 01, no. 01. URL: <https://doi.org/10.46889/jdhor.2020.1101> (date of access: 30.04.2024).
8. Evaluation of using ultrasound welding process of biodegradable plates for fixation of pediatric mandibular fractures / W. H. El-Saadany et al. *Tanta Dental Journal*. 2015. Vol. 12. P. S22–S29. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tdj.2015.08.003> (date of access: 30.04.2024).
9. New Approaches to the Surgical Treatment of Lung and Bronchial Tumors in Children / O. V. Bilokon et al. *International Journal of Biology and Biomedical Engineering*. 2021. Vol. 15. P. 311–317. URL: <https://doi.org/10.46300/91011.2021.15.37> (date of access: 30.04.2024).
10. The features of electric welding colorectal anastomosis creation in experiment and clinics / S. S. Podpriatov et al. *Reports of Vinnytsia National Medical University*. 2018. Vol. 22, no. 3. P. 532–537. URL: [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2018-22\(3\)-29](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2018-22(3)-29) (date of access: 30.04.2024).
11. Controlled temperature tissue fusion: Argon laser welding of canine intestine in vitro / I. Çilesiz et al. *Lasers in Surgery and Medicine*. 1996. Vol. 18, no. 4. P. 325–334. URL: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-9101\(1996\)18:4%3C325::aid-lsm1%3E3.0.co;2-u](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-9101(1996)18:4%3C325::aid-lsm1%3E3.0.co;2-u) (date of access: 30.04.2024).
- 1.2. Rabau M. Y., Wasserman I., Shoshan S. Healing process of laser-welded intestinal anastomosis. *Lasers in Surgery and Medicine*. 1994. Vol. 14, no. 1. P. 13–17. URL: <https://doi.org/10.1002/lsm.1900140106> (date of access: 30.04.2024).