

К. В. Базіло¹, к.т.н., доцент,
Ю. Ю. Бондаренко¹, к.т.н., доцент,
В. М. Зайка¹,
Ю. А. Петрушко¹,
Л. О. Федорук²

¹Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

²Третя Черкаська міська лікарня швидкої медичної допомоги
вул. Самійла Кішки, 210, Черкаси, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В УЛЬТРАЗВУКОВІЙ ХІРУРГІЇ

Поширеність вогнепальних поранень у сучасному світі пов'язана з криміналізацією суспільства, терористичними загрозами, збільшенням кількості локальних військових конфліктів і громадських заворушень. Основним методом попередження розвитку важких інфекційних ускладнень вогнепальних поранень є операція – первинна хірургічна обробка ран. Пошук і розробка методів зниження крововтрати, прискорення загоєння післяопераційних ран і розсмоктування рубців – важливі завдання сучасної хірургії, вирішенню яких сприяє застосування ультразвуку. В роботі проаналізовано небезпеки та ускладнення при вогнепальних пораненнях, їх відмінності від травматичних ушкоджень іншого походження. Розглянуто переваги та можливості застосування ультразвукової хірургії. Проведено дослідження п'єзoeлектричних перетворювачів для ультразвукової хірургії.

Ключові слова: вогнепальне поранення, ультразвукова хірургія, ультразвуковий скальпель, п'єзoeлектричний елемент.

Вступ. Поширеність вогнепальних поранень у сучасному світі пов'язана з криміналізацією суспільства, терористичними загрозами, збільшенням кількості локальних військових конфліктів і громадських заворушень. За останні 2,5 року в Україні відзначено різке зростання кількості вогнепальних поранень під час революційних подій у січні-лютому 2014 р., військових дій на Сході країни та внаслідок збільшення кількості вогнепальної зброї (переважно нелегальної) на руках у населення.

Вогнепальні поранення відрізняються від травматичних ушкоджень іншого походження наявністю некротичних тканин навколо ранового каналу, високою ймовірністю утворення ділянок вторинного некрозу в найближчому посттравматичному періоді, складним напрямком ранового каналу з нерівномірною протяжністю уражених та некротизованих ділянок, наявністю в тканинах сторонніх предметів, високим ризиком інфікування та розвитку гнійно-запальних ускладнень, ушкодженням тканин на значній відстані від ранового каналу [1].

В останні десятиліття спостерігається бурхливий прогрес у розробці більш доскона-

лих видів стрілецької зброї та боєприпасів вибухової дії. Прийняття цих засобів ураження живої сили на озброєння більшості армій обумовило значне зростання тяжкості вогнепальної бойової травми, збільшило частоту множинних та поєднаних поранень, збільшило об'єм ушкоджень.

Особливо значні порушення при вогнепальних пораненнях виникають у м'язах. Дефекти в них через скорочення окремих пучків збільшуються, внаслідок чого утворюються порожнини та кармани. В зоні руйнування м'яких тканин пошкоджуються судини, ділянка ранового каналу заповнюється кров'ю. Наявність у рані розтрощених та відірваних ділянок м'язів та фасцій, вільних кісткових уламків і згустків крові, а також розлади мікроциркуляції та набряк у ділянці пошкодження в поєднанні з мікробним забрудненням створюють сприятливі умови для розвитку ранової інфекції [2].

Заходи хірургічної допомоги при вогнепальних пораненнях спрямовані на вирішення чотирьох задач: порятунку життя, тобто усунення наслідків поранення, що загрожують життю (асфіксії, кровотечі, напруженого чи відкритого пневмотораксу тощо), попере-

дження розвитку травматичного шоку або інших порушень життєво важливих функцій, відновлення структури і функцій пошкоджених органів і тканин, попередження розвитку ранової інфекції. Основним методом попередження розвитку важких інфекційних ускладнень вогнепальних поранень є операція – первинна хірургічна обробка ран.

Попередження розвитку ускладнень досягається достатньо широким розтином вхідного і вихідного отворів, видаленням вмісту ранового каналу і явно нежиттєздатних тканин, що становлять зону первинного некрозу, а також тканин з сумнівною життєздатністю із зони вторинного некрозу, хорошим гемостазом, повноцінним дрениванням рани [3].

Перспективним є застосування ультразвукової хірургії у військовій медицині та використання п'єзоелектричних елементів як джерел ультразвуку, дослідження яких і стало *метою* цієї роботи.

Особливості ультразвукової хірургії. Велику частку хірургічних інфекцій становлять захворювання м'яких тканин, які розвиваються у вигляді розповсюдження форм гнійно-запального процесу. Використання антибіотиків частково дало можливість запобігти цій ситуації. Але при частому застосуванні цих препаратів спостерігається різке зростання стійкості мікробної флори, що призводить до зниження ефективності антибіотикотерапії. Пошук і розробка методів зниження крововтрати, прискорення загоєння післяопераційних ран і розсмоктування рубців – важливі завдання сучасної хірургії, вирішенню яких сприяє застосування ультразвуку [4, 5].

Існують дві основні сфери застосування ультразвуку у хірургії. В першій з них використовується здатність сильно фокусованого пучка ультразвуку викликати локальні руйнування у тканинах, а в другій – механічні коливання ультразвукової частоти використовуються в хірургічних інструментах.

Ультразвуковий вплив характеризується значною антибактеріальною дією, що дає змогу при хірургічному втручанні виконувати антисептичну обробку, не використовуючи антибіотики та різні хімічні компоненти. Слід зазначити, що ультразвукові інструменти мають явні переваги перед електро- або кріохірургічними, тому що не прилипають до тканини і поверхні ранового каналу і не викликають додаткових травм. Ультразвуковий скальпель, порівняно з лазерним хірургічним інструментом, дає можливість відчувати опір

тканини при операції, хірург краще контролює процес її розсічення [6].

Ультразвукові інструменти різняться за своїм призначенням, амплітудою коливань хвиль та іншими характеристиками. Основними вважаються: скальпель (хірургічний ніж), пила, ультразвуковий апарат для «зварки» кісток та ін. Амплітуда (A) коливань хвиль різальної частини інструменту може становити від 1 до 365 мкм (залежно від призначення інструменту і потреб операції), f (частота) – від 20 до 100 кГц. Ультразвукові коливання зменшують тертя між тканинами і лезом. При розтині м'яких тканин з ними взаємодіє тільки кромка різальної частини – відбувається мікрорізання. Від кромки виділяється тепло, що створює гемостатичний ефект. Це все здатне значно полегшити процес оперування, що й обумовлює поширення ультразвукових інструментів у хірургії [7].

П'єзоелектричні перетворювачі для ультразвукової хірургії. П'єзоелектричні перетворювачі широко використовуються в різних сферах науки і техніки, зокрема медицині. Як джерела ультразвукових коливань у хірургії можуть використовуватися магнітострикційні або п'єзоелектричні перетворювачі [6, 7].

Дослідженню п'єзоелектричних перетворювачів та покращенню їх характеристик присвячено чимало робіт. Зокрема в роботі [8] для підсилення акустичних коливань електроди на п'єзоелементі розташувалися таким чином, щоб вектор електричного поля E напружки збудження становив кут α з вектором поляризації P , причому $0 < \alpha \leq 90^\circ$ (рис. 1) [9].

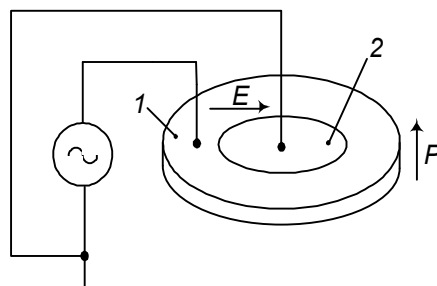


Рис. 1. Схема підключення п'єзоелемента при $\alpha=90^\circ$, електроди 1 та 2 розташовані планарно

Цей підхід пропонується використати і при дослідженні коливань в ультразвукових хірургічних інструментах.

Для експериментальних досліджень було використано скальпель черевцевий (рис. 2) та дисковий п'єзоелектричний елемент $\varnothing 50 \times 1,2$ мм з матеріалу ЦТБС-3.

Черевцевий скальпель призначений для:
 – проведення відносно довгих прямолінійних глибоких розрізів шкіри, підшкірної жирової клітковини, м'язів;
 – розсікання капсули суглобів, зв'язок, хряща зі значним зусиллям на невеликому проміжку [7].



Рис. 2. Скальпель черевцевий

Сегменти п'єзоелектричного диска були приєднані до скальпеля за допомогою епоксидної смоли. Дослідний експериментальний зразок зображено на рис. 3.

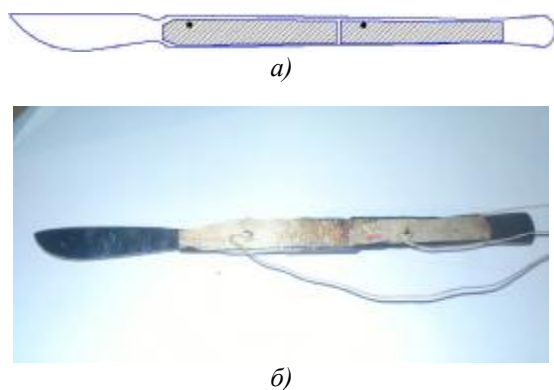


Рис. 3. Дослідний експериментальний зразок

Збудження ультразвукових коливань відбувалося за допомогою генератора ГЗ-109 за схемою підключення, зображеною на рис. 1. Робоча частота експериментальної ультразвукової коливальної системи (скальпель-п'єзоелемент) становила 28,96 кГц. При цьому відбулося зменшення тертя між двома поверхнями (інструмент-тканина). Це явище спостерігається, якщо одна з поверхонь здійснює коливальні рухи. Саме тому робота з ультразвуковими інструментами вимагає від хірурга менших зусиль, ультразвукові інструменти не прилипають до тканини та поверхні ранового каналу і не викликають додаткових травм.

Подальші дослідження будуть спрямовані на підсилення потужності ультразвукових коливань, розробку конструкцій та енергонезалежність ультразвукових скальпелів.

Висновки. Основні результати цієї роботи можна зафіксувати таким чином.

1. Проаналізовано небезпеки та ускладнення при вогнепальних пораненнях, їх відмінності від травматичних ушкоджень іншого походження.

2. Розглянуто переваги та можливості застосування ультразвукової хірургії.

3. Проведено дослідження п'єзоелектричних перетворювачів для ультразвукової хірургії. Для підсилення акустичних коливань п'єзоелементи на скальпелі запропоновано розташувати таким чином, щоб вектор електричного поля напруги збудження становив кут з вектором поляризації.

Список літератури

1. Копчак А. В. Патогенез і принципи лікування вогнепальних поранень щелепно-лицевої ділянки в умовах багатопрофільного закладу / А. В. Копчак, В. А. Рибак, Ю. І. Марухно // Медицина неотложных состояний. – 2015. – № 7. – С. 94–105.
2. Вогнепальні поранення кінцівок: методичні рекомендації [Електронний ресурс] / Київ, 2015. – 46 с. – Режим доступу: <http://kafravm.com.ua/images/pdf/gunshot.pdf>
3. Хірургія військова та надзвичайних ситуацій: методичні вказівки. Тема 1: Вогнепальні поранення та їх лікування / Харків: ХНМУ, 2013. – 25 с.
4. Гринюк С. В. Особливості проведення бактеріального контролю за післяопераційними ускладненнями ран у хірургічних хворих / С. В. Гринюк, Н. Ю. Лебединська // Медичні перспективи. – 2011. – Т. XVI, № 1. – С. 65–67.
5. Вільцанюк О. А. Нові підходи до профілактики нагноєння післяопераційної рани / О. А. Вільцанюк, Р. А. Лутковський, М. О. Хуторянський // Харківська хірургічна школа. – 2011. – № 4. – С. 22–25.
6. Физические основы использования ультразвука в медицине [Электронный ресурс] / [И. И. Резников, В. Н. Федорова, Е. В. Фаустов и др.]. – Москва, 2015. – 97 с. – Режим доступа: <http://rsmu.ru/fileadmin/rsmu/img/pf/cfim/uzi.pdf>
7. Семенов Г. М. Современные хирургические инструменты / Г. М. Семенов. – СПб: Питер, 2013. – 352 с.
8. Bondarenko Yu. Yu. The increase of sound pressure level of monomorph transducers with the use of spatial energy force structure of a piezoelement / Yu. Yu. Bondarenko, K. V. Bazilo, L. G. Kunytska // Visnyk Cher-

kaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu. – 2015. – No. 3. – P. 5–9.

9. Патент на корисну модель 67638 Україна, МПК H04R 17/00. Електроакустичний перетворювач / Шарапов В. М., Базіло К. В., Савін В. Г. та ін. – № u201112590; заяв. 27.10.2011; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 4.

References

1. Kopchak, A. V., Rybak, V. A. and Marukhno, Yu. I. (2015) Pathogenesis and principles of treatment of gunshot wounds of maxillofacial area in specialized multidisciplinary hospital. *Medicina neotlozhnyh sostoyanij*, No. 7, pp. 94-105 [in Ukrainian].
2. Gunshot wounds of limbs: guidelines (2015) Kyiv, 46 p., available at: <http://kaf-travm.com.ua/images/pdf/gunshot.pdf>
3. Military and emergency surgery: guidelines. Issue 1: Gunshot wounds and their treatment (2013). Kharkiv: KhNMU, 25 p. [in Ukrainian].
4. Hrynyuk, S. V. and Lebedyn's'ka, N. Yu. (2011) Peculiarities of bacterial control over postoperative complications of wounds in surgical patients. *Medychni perspektyvy*, Vol. XVI, No. 1, pp. 65–67 [in Ukrainian].
5. Viltanyuk, A. A., Lutkovskiy, R. A. and Khutoryanskyi, M. A. (2011) New approaches to the prevention of postoperative wound suppuration. *Kharkivska hirurgichna schkola*, No. 4, pp. 22–25 [in Ukrainian].
6. Reznikov, I. I., Fedorova, V. N., Faustov, E. V. et al. (2015) Physical bases of the use of ultrasound in medicine. Moscow, 97 p., available at: <http://rsmu.ru/fileadmin/rsmu/img/pf/cfm/uzi.pdf>
7. Semenov, G. M. (2013) Modern surgical instruments. St. Petersburg: Piter, 352 p. [in Russian].
8. Bondarenko Yu. Yu., Bazilo, C. V. and Kunytska, L. G. (2015) The increase of sound pressure level of monomorph transducers with the use of spatial energy force structure of a piezoelement. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, No. 3, pp. 5–9.
9. Sharapov, V. M., Bazilo, C. V., Savin, V. G. et al. (2012) Electroacoustic transducer. Patent of Ukraine 67638 [in Ukrainian].

C. V. Bazilo¹, Ph.D. (Eng.), associate professor,
Yu. Yu. Bondarenko¹, Ph.D. (Eng.), associate professor,
V. M. Zaika¹,
Yu. A. Petrushko¹,
L. O. Fedoruk²

¹Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

²Cherkasy First Aid Hospital No. 3
Samiylo Kishka str., 210, Cherkasy, Ukraine

APPLICATION OF PIEZOELECTRIC ELEMENTS IN ULTRASONIC SURGERY

The prevalence of gunshot wounds in the modern world is associated with high crime rates, terrorist threats, the increase in number of local military conflicts and public disorders. The main method to prevent serious infectious complications of gunshot wounds is a primary surgical treatment of wounds. In most cases, surgical interventions are followed by infections which cause diseases of soft tissues that develop in the form of inflammatory processes and others. The research and development of methods to reduce blood loss, to accelerate wound healing and to resorb postoperative scars are one of the biggest challenges in medicine, which ultrasound helps to solve. The risks and complications at gunshot wounds, their differences from traumatic injuries of other genesis are analyzed in the work. The advantages and possible applications of ultrasonic surgery are considered. It should be noted that ultrasonic systems have several advantages over electrical or cryosurgical ones because they do not stick to the tissue and wound channel surface and do not cause additional injuries. The ultrasonic scalpel in comparison with laser surgical instrument allows the surgeon to control the tissue dissection process better. The research of piezoelectric transducers for ultrasonic surgery is conducted. To enhance acoustic oscillations it is offered to place piezoelectric elements on a scalpel, in such way having an angle between electric field vector of excitation voltage and polarization vector.

Key words: gunshot wound, ultrasonic surgery, ultrasonic scalpel, piezoelectric element.

*Рецензенти: В. М. Рудницький, д.т.н, професор,
Гордієнко, Науково-виробничий комплекс «Фотоприлад»*