

І.А. Москалик

Про використання термоелектричних приладів у кріохірургії

Інститут термоелектрики НАН та МОН України, вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна, e-mail: anatysh@gmail.com

У роботі досліджено сучасний стан використання термоелектричних приладів у кріохірургії. Визначено переваги термоелектричних охолоджуючих приладів та раціональні області їх використання.

Ключові слова: термоелектричні прилади, кріохірургія

Стаття поступила до редакції 07.06.2015; прийнята до друку 15.09.2015.

Вступ

Використання охолодження у медичній практиці, зокрема у хірургії останнім часом привертає все більшу увагу [1,2]. Охолодження у хірургії дає можливість зменшити крововтрати, знизити виразність і тривалість больового синдрому, попередити мікробне зараження, запобігти поширенню метастазів тощо.

Створено цілий ряд приладів, кріогенних установок та кріохірургічних систем, які працюють на основі рідкого азоту, оксиду азоту та діоксиду вуглецю [3], що використовуються в кріохірургії. Однак такі прилади мають певні недоліки: низька точність підтримання заданої температури ($\pm 5 - 10^\circ\text{C}$); рідкий азот є досить небезпечною речовиною і вимагає відповідної обережності при використанні; існують ризики переохолодження з негативними наслідками. Також зберігання та транспортування рідкого азоту є проблематичним, що змушує шукати альтернативні методи охолодження за допомогою рідкого азоту. Це відкриває перспективи використання термоелектричного охолодження у кріохірургії [4].

Тому метою даної роботи є дослідження сучасного стану застосування термоелектричних приладів в кріохірургії, а також визначення перспективних напрямів їх використання.

І. Термоелектричні прилади для онкології

Широке практичне застосування в хірургічній практиці отримали термоелектричні прилади для деструкції м'яких тканин (кріозонди і кріоекстрактори), які призначені для лікування

онкологічних захворювань, видалення злякисних новоутворень і дозволяють уникати поширення метастазів в організмі людини [5-8].

В роботі [5] експериментально досліджено процес заморожування при температурі -40°C і відтавання тканини, а також інші процеси, що протікають в клітинах. Показано, що для повного руйнування тканин заморожування має досягати певної глибини, так як на периферії клітини можуть не бути зруйновані. Дослідження показали, що підвищити руйнівний ефект можна збільшенням тривалості температурного впливу, збільшенням кількості циклів заморожування - відтавання і почерговим заморожуванням - нагріванням тканин.

У патенті [6] запропоновано термоелектричний прилад, призначений для лікування ракових та інших пухлин методом ітеративного застосування холоду. Прилад складається з

теплоізоляованого корпусу 1, в якому розміщений рідинний теплообмінник 2, що забезпечує охолодження гарячих спайв 3, п'ятикаскадної термоелектричної батареї 4 і наконечника 6, який з'єднаний з холодним спаєм 5 термоелектричної батареї (рис. 1). Даний пристрій дозволяє здійснювати інтенсивний локалізований вплив холоду на пухлину з точною регуляцією кількості холоду. Температура на вістрі наконечника становить $(-40 \div -50)^\circ\text{C}$.

Аналогічні термоелектричні кріоекстрактори для лікування онкологічних захворювань запропоновані

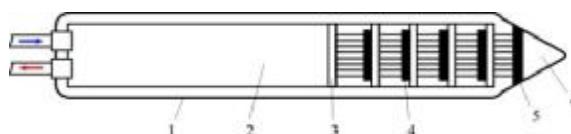


Рис. 1. Термоелектричний пристрій для онкології.

в роботах [7, 8].

II. Термоелектричні прилади для нейрохірургії

У роботах [9, 10] представлений термоелектричний прилад призначений для гіпотермії мозку людини в посттравматичний та післяопераційний період. Прилад виготовлений у вигляді шолома і складається із сукупності термоелектричних охолоджуючих модулів, системи тепловідведення, термоелектричного блоку охолодження, насоса, блоку управління і живлення. Шолом має ряд переваг в порівнянні з традиційними методами охолодження мозку. Зниження температури до необхідного рівня відбувається на протязі п'яти хвилин, що є критичним строком для збереження мозку. Прилад дає можливість знизити температуру головного мозку людини до 22 - 26 °С і таким чином забезпечити його захист від фатального ефекту гіпоксії (кисневого голодування).

Температура може триматися під контролем, а також може бути збільшена у разі потреби.

Термоелектричний пристрій для локальної гіпотермії, який використовується в нейрохірургії для лікування травм і захворювань спинного мозку подано в роботі [11]. Пристрій має сегментну конструкцію, кожен сегмент якої містить зігнуте тепловідвідне ребро і рідинний теплообмінник. Кожне ребро являє собою теплову трубу, порожнина якої має шар капілярно-пористого матеріалу, заповнений теплоносієм. Зміна температури кожного ребра забезпечується термоелектричним модулем, розташованим в прямій частині ребра. У криволінійно зігнутій частині тепловідвідного ребра розташований датчик температури (термопара), підключений до блоку управління, який являється джерелом живлення термоелектричних модулів. Прилад дозволяє з високою точністю підтримувати задану температуру під час оперативного втручання.

III. Термоелектричні прилади для офтальмології

В патентах [1, 12-15] запропоновано використання термоелектричних перетворювачів енергії для охолодження біологічних тканин ока людини в офтальмології.

У патенті [1] запропоновано термоелектричний кріоекстрактор катаракти, який призначений для видалення помутнілих очних кришталіків шляхом приморожування до них голчастого наконечника. Спосіб застосування термоелектричного кріоекстрактора катаракти полягає в тому, що охолодженим до (-30 ÷ -35)°С наконечником торкаються до помутнілого кришталіка, який протягом 2-3 секунд міцно приморожують до нього і видаляють з ока людини. Прилад може використовуватися не тільки в офтальмології, але і в мікрохірургії для видалення тканин і призупинення кровотоку в судинах.

У патенті [12] запропоновано термоелектричний кріозонд, призначений для лікування захворювань ока. Суть винаходу полягає в забезпеченні швидкого реагування мініатюрного термоелектричного кріозонда, який охолоджується за допомогою теплового контуру і містить напівпровідниковий термоелектричний модуль охолодження. Температура робочої поверхні становить -40 °С і досягається за 18 секунд.

Аналогічні прилади запропоновані в патентах [13-15]. Призначені вони для точного дозування температурного впливу на передній відрізок очного яблука людини.

IV. Термоелектричні прилади для отоларингології

У патенті [16] представлений термоелектричний прилад призначений для локального охолодження тканин гортані. Він виконаний у формі пістолета з аплікатором на кінці стрижня і системою вимірювання температури аплікатора у вигляді діючого та опорного термоелектричних модулів (рис. 2). Прилад складається з аплікатора 1, який за

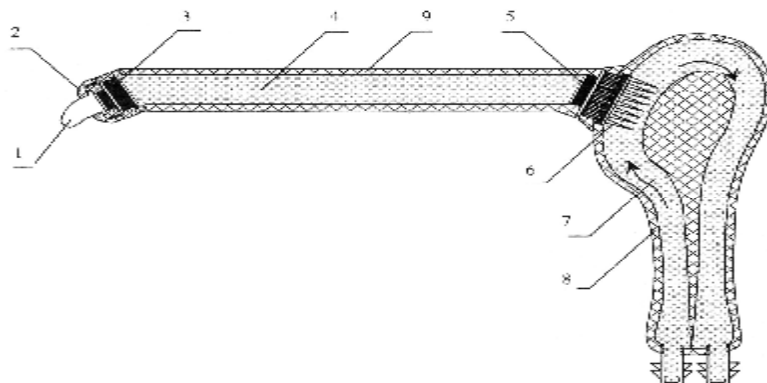


Рис. 2. Термоелектричний прилад для охолодження тканин гортані.

допомогою чохла 2 притискається до двокаскадної термоелектричної батареї 3. Відведення тепла від термобатареї здійснюється стрижнем 4, який у свою чергу знаходиться в контакті з двохкаскадним модулем 5.

Відведення тепла від модуля здійснюється радіатором 6, який омивається проточною рідиною, що циркулює в каналі 7 ручки приладу 8. Температура аплікатора становить $(-40 \div -50)^\circ\text{C}$, споживана потужність приладу - 160 Вт.

V. Термоелектричні прилади для гінекології, проктології та урології

В роботі [17] розроблено термоелектричний деструктор, призначений для лікування гінекологічних захворювань зокрема цервікального раку. Прилад складається з ізолюючого кожуха, водяного теплообмінника, п'ятикаскадного термоелектричного модуля, охолоджуючого зонда термопари, використовується для вимірювання температури і джерела живлення. Температура робочого кріозонда досягає $-54 \pm 15^\circ\text{C}$ при напрузі живлення 12 В.

У роботах [18-21] запропоновано термоелектричний напівпровідниковий прилад, який призначений для деструкції та лікування гінекологічних захворювань. Прилад складається з системи подачі лікувального розчину, системи зміни його температури в поєднанні з блоком живлення і системою підведення лікувального розчину до зони впливу. Лікувальний розчин нагрівається термоелектричної батареєю, яка дозволяє підтримувати заданий температурний режим.

У патенті [22] запропоновано термоелектричний прилад для лікування ерозії шийки матки в гінекології шляхом заморожування. До робочого інструменту монтується насадка, профіль яких відповідає умовам дотику до поверхні, яка піддається лікуванню (рис. 3). Температура насадок робочого інструменту становить -40°C . Прилад дозволяє здійснювати циклічне охолодження із заданою частотою.

Час переходу кріоекстрактора з режиму охолодження в режим розморожування – 5 хв., час нагрівання робочих насадок приладу до $+50^\circ\text{C}$ 10 хв.



Рис. 3. Термоелектричний кріоекстрактор.

У роботах [23, 24] представлені термоелектричні прилади, призначені для лікування захворювань нирок.

У патенті [25] запропоновано прилад для лікування онкологічних захворювань прямої кишки шляхом виморожування відповідних ділянок з онкологічними новоутвореннями. Температура робочого зонда досягає $(-40 \div +50)^\circ\text{C}$. Такий діапазон температур створюється каскадною термоелектричною батареєю. Холод до пухлини підводиться теплопровідним стрижнем, який дозволяє здійснювати операції в замороженому стані. Точність підтримки заданої температури приладу складає $\pm 1^\circ\text{C}$. Перевагою такого приладу є можливість проводити як звичайну гіпотермію, так і гіпертермію пухлин, а також хірургічні операції, які вимагають постійної дії холоду.

VI. Інші застосування

У патенті [26] запропоновано термоелектричний гіпотермічний прилад для пластичної та косметичної хірургії, який використовується в післяопераційний період. Прилад складається з штатива, ряду термоелектричних блоків, в яких розташовані термоелектричні модулі, радіатори для відведення тепла, які з'єднані між собою кріпленнями. Необхідні температурні умови (нагрівання та охолодження) створюються дистанційно за рахунок випромінювання і конвекції між особою пацієнта і термоелектричними блоками. Для запобігання подразнення не використовується обдув повітрям. Діапазон робочих температур на блоках становить $(-20 \div +50)^\circ\text{C}$.

У роботах [27-29] представлений гнучкий кріозонд, призначений для лікування захворювань внутрішніх органів. Прилад складається з гнучкої трубки, термоелектричних елементів, що кріпляться у верхній частині кріозонда, охолодженого наконечника, джерела живлення і контролера температури.

У роботах [30-33] представлені термоелектричні прилади, для лікування захворювань в гематології. Такі прилади дають можливість почергового температурного впливу холодом і теплом на хвору ділянку, що підвищує позитивний лікувальний ефект. Температура кріозонда становить $(-74 \div +45)^\circ\text{C}$. Результати дослідження показали, що вплив на тканину високою температурою відразу ж після заморожування і відтавання в кріохірургії дає більший руйнівний ефект і може зміцнити лікувальний ефект.

У патентах [34-37] запропоновано термоелектричний медичний пристрій (холодний скальпель), який призначений як для зовнішнього застосування як дерматологічний прилад для виморожування бородавок, вугрів і інших дефектів шкіри, так і в хірургії для проведення операцій на внутрішніх органах (мозок, серце, грудна порожнина). Серед інших застосувань можна виділити також поверхневе прикладання холоду до

кровоносних судин і капілярів з метою зупинки кровотечі. Температура охолодження наконечників досягає $\square 25^{\circ}\text{C}$.

напрямки застосування термоелектрики в хірургії: охолодження хірургічних інструментів під час проведення операцій та розробка термоелектричної медичної апаратури для кріодеструкції онкозахворювань.

VII. Аналіз перспектив використання термоелектричних приладів у кріохірургії

Встановлено, що термоелектричне охолодження дає можливість точно задавати необхідну температуру поверхні робочого інструменту, час температурного впливу на відповідну ділянку людського організму, а також забезпечувати циклічну зміну режимів охолодження і нагріву. Такі прилади можуть реалізувати охолодження до температур $(0 \div -80)^{\circ}\text{C}$, що забезпечує необхідний руйнівний ефект при кріодеструкції.

Таким чином, визначено основні перспективні

Висновки

1. Досліджено сучасний стан використання термоелектричних охолоджуючих приладів в кріохірургії. Встановлено, що такі прилади можуть реалізувати охолодження до температур $(0 \div -80)^{\circ}\text{C}$, що забезпечує необхідний руйнівний ефект при кріодеструкції.
2. Визначено переваги та перспективні напрямки використання термоелектричних приладів в кріохірургії.

- [1] L.I. Anatyshuk, *Termojelementy i termoelektricheskie ustrojstva: Spravochnik* (Naukova dumka, Kiev, 1979).
- [2] E.A. Kolenko, *Termoelektricheskie ohlazhdajushhie pribory. Izd. 2-e.* (Nauka, Leningrad, 1967).
- [3] V.I. Kochenov, *Kriohirurgicheskaja profilakticheskaja onkologija* (Novgorod, 2000).
- [4] I.A. Moskalik, O.M. Manik, *Termoelektrika* (6), 84 (2013).
- [5] Yuhui Li, Fen Wang, Hao Wang, *Biomicrofluidics* (2010).
- [6] Patent FR 2613611(A1). Thermoelectric effect device and its control and regulating members for treating cancers and other tumours by the method of interactive cryogenic applications//Baumgarten Frederic. - 1988.
- [7] Patent US 5207674. Electronic cryogenic surgical probe apparatus and method.//Archie C. H. - 1993.
- [8] Patent US 3971229. Apparatus for generating cold, principally for the application of cold by contact on the body of living beings.// Yves E. Privas . - 1976.
- [9] R. Ahiska, I. Guler, A.H. Javuz, A. Toprak, *Termoelektrika* 2, 64 (2008).
- [10] H. Yavuz, R. Ahiska, *International advanced technologies symposium* 120 (2011).
- [11] Patent RU 2382617. Termoelektricheskoe ustrojstvo dlja lokal'noj gipotermii spinnogo mozga./ Ismailov T.A., Ragimova T.A.,Ismailov R.T. - 2010.
- [12] Patent US 4519389. Thermoelectric cryoprobe./ Timofei S. Gudkin, Evgeny K. Iordanishvili, Nikolai S. Lidorenko, Bella E. Malkovich, Mikhail I. Razumovsky, Igor B. Rubashov. - 1985.
- [13] Patent RU 2197197. Termoelektricheskoe poluprovodnikovoe ustrojstvo dlja teplovogo vozdeystvija na perednij otrezok glaznogo jabloka cheloveka// Ismailov T.A., Aliev A.D., Aminova I.Ju., Evdulov O.V., Ismailov M.I. – 2003.
- [14] Patent RU 2332190 S2. Termoelektricheskoe ustrojstvo dlja kontrastnogo temperaturnogo vozdeystvija na glaz cheloveka/ Ismailov T.A., Aliev A.D., Aminov G.I. – 2008.
- [15] Patent RU 2372061 S2. Termoelektricheskoe poluprovodnikovoe ustrojstvo dlja transpalpebral'nogo ohlazhdenija glaz cheloveka./ Ismailov T.A., Aliev A.D., Aminov G.I., Ismailov M.I. – 2009.
- [16] Patent RU 2245695. Termoelektricheskoe poluprovodnikovoe ustrojstvo dlja lokal'nogo zamorazhivaniya tkanej gortani./Ismailov T.A., Aminov G.I., Ragimova T.A. – 2005.
- [17] Ardiyansyah, Nandy Putra, Ridho Irwansyah, *International Meeting of Advances in Thermofluids* 232 (2010).
- [18] E.A. Ermoshina, *Dagestanskij gosudarstvennyj tehniceskij universitet, g. Mahachkala*, (2007).
- [19] Patent RU 2330686. Ustrojstvo dlja kontrasnyh ginekologicheskikh oroshenij./ Ismailov T. A. – 2008.
- [20] Patent RU 2332243. Termoelektricheskoe poluprovodnikovoe ustrojstvo dlja ginekologicheskikh oroshenij./Ismailov T. A. – 2008.
- [21] Patent RU 2343882 S2. Teplovaja truba s intenzi-fikaciej otvoda gaza./ Ismailov T.A., Aminov G.I., Aminova I.Ju. – 2007.
- [22] Patent UA 53914. Termoelektrichnij krioelektraktor./ Kushnerik L.Ja., Starodub Ju.R. – 2003.
- [23] Hakan Isik, Esra Saracoglu, *Engineering and Technology* 1059 (2010)..
- [24] Hakan Isik, Esra Saracoglu, *Instrumentation science & technology* (2008).
- [25] Patent UA 84970. Termoelektrichnij gipoterm dlja proktologii ta onkologii./ Anatyshuk L.I., Kushnerik L.Ja., Senjutovich R.V. – 2008.

- [26] Patent RU 2361548 S2. Ustrojstvo dlja lokal'nogo teplovogo vozdejstviya na tkani cheloveka. Ismailov T.A., Aminov G.I., Jusufov Sh.A. – 2007.
- [27] S. Maruyama, K. Nakagawa, H. Takeda, Journal of Biomechanical science and engineering 138 (2007).
- [28] S. Maruyama, A. Komiya, H. Takeda, S. Aiba, BioMedical Engineering and Informatics 610 (2008).
- [29] Patent US 5139496. Ultrasonic freeze ablation catheters and probes./ Aharon Z. Hed. - 1992.
- [30] Patent US 3282267. Thermoelectric hypothermia instrument./William Eidus.-1966.
- [31] D. Takahashi, H. Nakamura, K. Shinoda, Japanese society of medical instrumentation 23 (2007).
- [32] D. Takahashi, T. Takahashi, K. Sone, Journal of power and energy systems 1294 (2008).
- [33] D. Takahashi, K. Sone, Trans. of the JSRAE 183 (2007).
- [34] Patent US 3093135. Sooled surgical instrument./Max L. Hirschhorn. - 1963.
- [35] Patent US 3502080. Thermoelectrically cooled surgical instrument. /Max L. Hirschhorn. - 1970.
- [36] Patent US 3133539. Thermoelectric medical instrument/ Eidus William. – 1964.
- [37] Patent US 6623479. Cryosurgical instrument./ Yehoshua B. Nun. - 2003.

I.A. Moskalyk

On the Use of Thermoelectric Devices in Cryosurgery

Institute of Thermoelectricity NAS and MES of Ukraine, Chernivtsi, 58029, Ukraine

In this article the current state of thermoelectric devices usage in cryosurgery is given. The advantages of thermoelectric cooling devices and rational spheres of their application are determined.

Keywords: thermoelectric devices, cryosurgery.