

М. М. Сичик^{1,2}
В. Б. Максименко^{1,2}
Б. Б. Кравчук¹
О. О. Лафета²

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РЕЖИМУ РАДІОЧАСТОТНОЇ АБЛЯЦІЇ ТКАНИН МІОКАРДУ ДЛЯ ОПЕРАЦІЇ MAZE НА ВІДКРИТОМУ СЕРЦІ

¹ Державна установа «Національний інститут серцево-судинної хірургії ім. М. М. Амосова Академії медичних наук України», Київ;

² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Досліджено взаємозв'язки роздільного впливу потужності та температури радіочастотної енергії із розмірами деструкції ділянок серця за використання двох типорозмірів електродів. Визначені ефективні і безпечні режими та параметри радіочастотної абляції. Практичне впровадження результатів експериментальних досліджень зменшило розміри деструкції тканин серця за ефективного усунення аритмій. Таким чином визначені мінімально необхідні і достатні характеристики радіочастотної потужності і температурного впливу для усунення аритмій в операціях Maze.

Ключові слова: радіочастотна абляція, операція Maze, розмір деструкції тканини міокарду, потужність генератора, температура електрода, розмір електрода.

Вступ

Радіочастотне руйнування джерел патологічного збудження та аномальних провідних шляхів в серці має дві технології клінічного застосування: трансвенозний доступ до ендокарду та зовнішня деструкція тканин передсердь (операція Maze). Їх термодинамічна відмінність полягає в тепловідведенні від електрода потоком крові у першому випадку, та контактом із «сухою» поверхнею відкритого серця — у другому [1, 2]. Широко розповсюджені операції Maze виконуються тими ж (катетерними) електродами, але в нестандартному режимі радіочастотного впливу, який потребує вивчення і адаптації до умов «сухого» серця.

Регулювання руйнівного ефекту, як правило, здійснюється шляхом довільної зміни потужності струму та температури електрода в певному інтервалі часу. В клінічних умовах використовуються два варіанти методу радіочастотної абляції (РЧА). В одному з варіантів, інтервал часу радіочастотного впливу на тканину серця регулюється автоматичною «відсічкою» напруги з досягненням температури $65 \pm 0,5$ °С (температура безпечного пошкодження, за якої відбувається денатурація білка в міокарді, але не виникають мікровибухи газу в тканини). Це так званий «режим контролю потужності» [3]. Другим варіантом методики є блокування «відсічки» і досягнення тривалішого впливу високої температури — «режим контролю температури» [4]. Остаточний вибір варіанта РЧА, в залежності від ділянки серця, в якій відбувається деструкція, є предметом дискусії і потребує наукового обґрунтування [5, 6].

Метою дослідження є вибір ефективних та безпечних параметрів радіочастотної абляції для досягнення бажаних розмірів деструкції і усунення аритмії під час виконання операції Maze в умовах «сухого» серця.

Матеріали і методи

Як дослідні зразки тканини використано міокард свині в його ендокардіальній частині, отриманий через декілька годин після перебування в стані фармако-холодової гібернації спеціальним кардіоплегічним розчином, за умови максимального збереження характеристик його життєдіяльності, що підтверджувалось проявами фібриляції міоцитів після перенесення в розчин Рингера.

В експерименті застосовані РЧ генератор Stockert EP-Shuttle та абляційні катетери компанії Biosense Webster.

Абляційний електрод встановлювався перпендикулярно до тканини. Ширина та глибина отриманих деструкцій вимірювались на розрізі тканини за допомогою штангенциркуля з технічною похибкою $\pm 0,05$ мм та відповідали вимогам клінічного застосування методу.

Експерименти виконувалися у двох режимах роботи радіочастотного генератора:

1. В першій групі з 70 досліджень, в режимі контролю вихідної потужності, встановлювалися номінальні значення енергії — 5 Вт, 10 Вт, 20 Вт, 40 Вт; температура відсічки $95 \pm 0,5$ °С. За таких умов тривалість впливу регулювалася незалежно від оператора і, відповідно до автоматичного відключення, коливалася в межах від 22 до 60 с.

2. У другій групі з 60 досліджень, в режимі контролю вихідної температури, задавалися номінальні значення — 55 °С, 65 °С, 75 °С, блокувалась можливість температурної відсічки. Тривалість радіочастотного впливу була постійною — 60 с. Потужність впливу обиралась автоматично в залежності від заданої оператором температури, час досягнення якої становив 10...15 с.

В обох групах досліджувалися розміри деструкції в залежності також і від розмірів абляційних електродів: 4 мм і 8 мм.

Результати

У першій групі експериментального дослідження впливу потужності на розмір деструкції отримані результати, які вказують на те, що (в режимі контролю потужності) для електрода довжиною 4 мм, радіочастотна абляція дозволяла досягнути розмірів деструкції (ширина — $9,2 \pm 0,3$ мм, глибина — $4,4 \pm 0,5$ мм) на потужностях близько 5 Вт. При цьому реєструвалася температура електрода $61,6$ °С.

Потужність 10 Вт приводила до утворення максимальних розмірів деструкції (ширина — $10,6 \pm 0,7$ мм, глибина — $5,7 \pm 0,6$ мм), але зумовлювало зростання температури електрода в зоні контакту до $81,2$ °С, що перевищувало безпечну межу для тканини серця $65 \pm 0,5$ °С.

За подальшого підвищення потужності понад 10 Вт температура стрімко зростала, викликаючи автоматичне відключення подачі енергії за максимальної температури $95,5$ °С, тому час впливу скорочувався до 20 с і розміри пошкоджень були меншими (ширина — $6,0 \pm 0,2$ мм, глибина — $3,4 \pm 0,2$ мм). Такої глибини пошкодження може бути недостатньо для ефективного руйнування джерела патологічного збудження.

З розміром електрода 8 мм в умовах режиму контролю потужності від 10 Вт до 20 Вт, внаслідок тепловідведення з більшої поверхні електрода, його температура в місці контакту протягом нанесення деструкції була в безпечних межах для тканини, від $44,7$ °С до $64,5$ °С і не досягала значень «температурною відсічки» ($> 95,5$ °С), необхідних для автоматичного відключення. Тривалість радіочастотного впливу регулювалася в ручному режимі, а тому розміри пошкодження зростали пропорційно до кількості переданої енергії тканині, що дозволяло досягнути максимального пошкодження (ширина — $12,3 \pm 0,6$ мм, глибина — $9,5 \pm 0,5$ мм). Подача на електрод 8 мм потужності 40 Вт зумовлювала нагрівання до температури $77,4$ °С і призводила до мікровибухів парів газу в тканині міокарда.

Вищезгадані залежності показані на рис. 1.

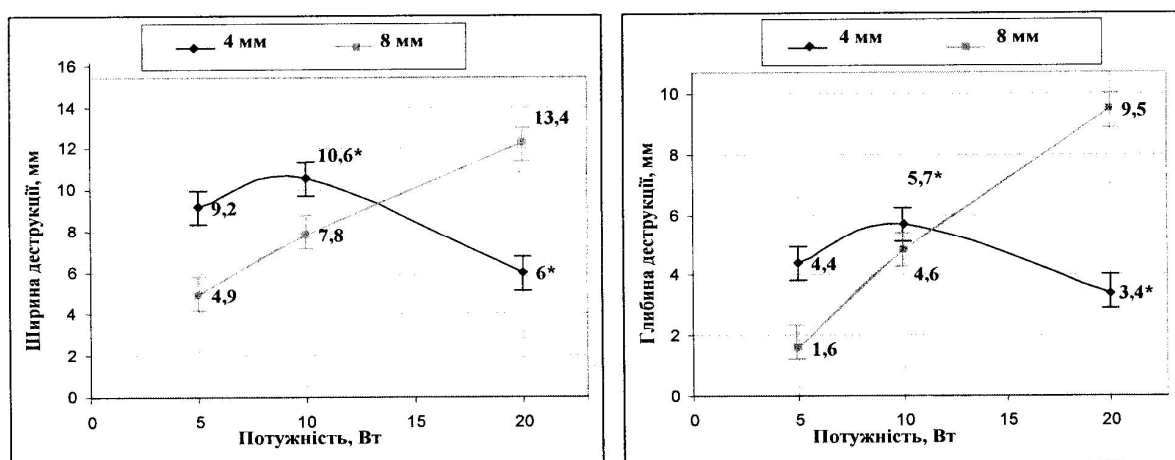


Рис. 1. Середні розміри утворюваної деструкції ($p < 0,05$) у режимі контролю вихідної потужності у разі розмірів електродів 4 і 8 мм та тривалості впливу 60 с

Примітка. * — тривалість впливу 22 с, внаслідок температурної відсічки.

Друга група експериментів в режимі контролю температури електрода відкрила можливість уникнення негативних моментів передчасного припинення процедури внаслідок «температурної відсічки» і попередження появи мікроривів. Тривалість впливу не скорочувалася і становила 60 с для трьох номінальних значень температури електродів: 55 °С, 65 °С, 75 °С. В цих умовах отримана лінійна залежність розмірів деструкції від температури (рис. 2).

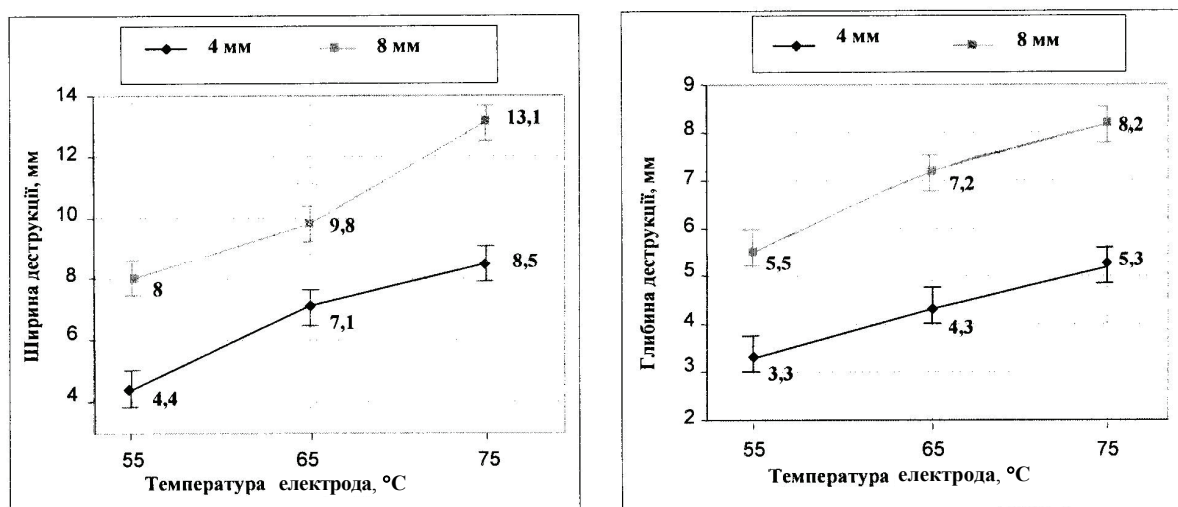


Рис. 2. Середні розміри утвореної деструкції ($p < 0,05$) у режимі контролю температури у разі розмірів електродів 4 і 8 мм та тривалості впливу 60 с

Якщо розмір електрода 4 мм, то ширина і глибина деструкції менші ніж з 8 мм електродом. Мінімальні розміри деструкції за температури 55 °С для електрода 4 мм становили: ширина — $4,4 \pm 0,3$ мм, глибина — $3,3 \pm 0,1$ мм; а для електрода 8 мм, відповідно, $8 \pm 0,4$ мм і $5,5 \pm 0,3$ мм. За температури 65 °С отримані розміри деструкції — для електрода 4 мм: ширина — $7,1 \pm 0,2$ мм, глибина — $4,3 \pm 0,2$ мм; і для 8 мм, відповідно: $9,8 \pm 0,6$ мм і $7,2 \pm 0,3$ мм. За температури 75 °С отримані максимальні розміри деструкції — для електрода 4 мм: ширина — $8,5 \pm 0,4$ мм, глибина — $5,3 \pm 0,3$ мм і для 8 мм, відповідно, $13,1 \pm 0,7$ мм і $8,2 \pm 0,4$ мм. Але за такої температури виникали мікрориву в тканині, що неприпустимо в клінічних умовах.

Обговорення

Збільшення вихідної потужності приводило до підвищення температури електрода і зумовлювало утворення більшої деструкції тканин міокарду. Величина корисної потужності радіочастотного струму, що доходила до тканини і утворювала ефективно і безпечно трансмуральне пошкодження, залежала від довжини електрода.

Для ефективного використання електрода 4 мм, доцільно застосовувати його в режимі контролю температури, який дозволяв підводити до тканини серця більшу величину радіочастотної енергії, не зумовлюючи перегрівання електрода і автоматичного припинення подачі струму.

Електрод 8 мм, у свою чергу, ефективніше працював в режимі контролю потужності, де він зумовлював швидше наростання енергії радіочастотного струму і утворення більшого за розміром пошкодження.

Отримані результати дозволили обирати параметри радіочастотної абляції для досягнення безпечних розмірів деструкції під час операції Maze в різних ділянках серця, товщини яких наведені в таблиці [1].

Розміри ділянок серця, що відповідають за механізм аритмії та підлягають радіочастотній абляції

Зона радіочастотного впливу	Розміри
Праве передсердя, қава-трикуспідальний перешийок	товщина стінки 2...3 мм, довжина перешийку 25 мм
Ліве передсердя, гирла легеневих вен	товщина стінки 2...3 мм
Правий та лівий шлуночок	товщина стінок 4...6 мм та 9...11 мм

Виходячи з міркувань безпеки, для роботи в ділянках серця з розмірами до 6 мм та по тонких стінках товщиною до 3 мм, режим вибору РЧА був такий: режим контролю потужності, розмір електрода 4 мм, потужність близько 5 Вт, температура відсічки 65,5 °С.

У випадку, коли потрібно досягнути розмірів пошкодження від 6 до 8 мм доцільно застосовувати електрод 4 мм в режимі контролю температури з номінальним значенням 65 °С (потужність автоматично зростала понад 5 Вт).

Для РЧА патологічних джерел збудження на глибині до 11 мм в міокарді, був ефективним варіант: електрод 8 мм, режим контролю температури з варіацією номінальних значень в межах 55...65 °С (потужність 20...30 Вт).

РЧА ділянки серця з товщиною стінки 2...3 мм, але великою за площею, коли потрібно виконати лінію з точок абляції довжиною близько 25 мм, доцільне використання електрода 8 мм в горизонтальному положенні, режим контролю потужності, потужність 30 Вт.

Результати виконаного дослідження дозволили визначити ефективні і безпечні режими радіочастотного впливу трансвенозними катетерними електродами в умовах «сухого» серця. Отримані мінімально необхідні і достатні характеристики радіочастотної потужності і температурного впливу для усунення аритмій під час операцій Maze.

Висновки

1. Для ділянок серця товщиною до 3 мм рекомендована потужність 5 Вт з розміром електрода 4 мм.
2. Для ділянок серця товщиною до 6 мм рекомендована потужність 20...30 Вт з розміром електрода 8 мм. Його ефективно застосовувати в горизонтальному положенні для руйнування ділянок до 25 мм.

3. Для точкової деструкції джерела аритмії на глибині до 6...8 мм за допомогою електрода 4 мм, та на глибині 9...11 мм — електрода 8 мм, може бути рекомендовано режим контролю температури з номінальними значеннями в межах 55...65 °С.

Застосування таких режимів і технічних параметрів РЧА в клінічній практиці під час операцій Maze показало такі результати. З 99 пацієнтів синусовий ритм відновився відразу ж після зняття зажиму з аорти у 81 (81,1 %) хворих, під час виписки на $11,1 \pm 1,2$ добу після операції був зареєстрований на ЕКГ у 82 (82,2 %) пацієнтів. 89 (90,8 %) хворих спостерігалися протягом 1 року після операції. У групі з 82 пацієнтів з відновленим синусовим ритмом він зберігався у 77 (96,1 %) пацієнтів. У групі з 7 пацієнтів, виписаних з мерехтливою аритмією, у 2 (28,5 %) відновився синусовий ритм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Guerra J. M. Effects of Open-Irrigated Radiofrequency Ablation Catheter Design on Lesion Formation and Complications: In Vitro Comparison of 6 Different Devices / J. M. Guerra, E. Jorge, S. Raga, C. Gálvez-Montón, C. Alonso-Martín, E. Rodríguez-Font // DOI : 10.1111/jce.12175. — 2013.
2. Everett T. H. Safety profiles and lesion size of different radiofrequency ablation technologies: a comparison of large tip, open and closed irrigation catheters / T. H. Everett, K. W. Lee, E. E. Wilson, J. M. Guerra, P. D. Varosy, J. E. Olgin // J Cardiovasc Electrophysiol. — 2009. — Vol. 20 (3) — P. 325—335.
3. Wittkamp F. H. RF catheter ablation: Lessons on lesions / F. H. Wittkamp, H. Nakagawa // Pacing Clin Electrophysiol. — 2006. — Vol. 29. — P. 1285.
4. Dorwarth U. Radiofrequency catheter ablation: Different cooled and noncooled electrode systems induce specific lesion geometries and adverse effects profiles / U. Dorwarth, M. Fiek, T. Remp, et al. // Pacing Clin Electrophysiol. — 2003. — Vol. 26. — P. 1438.
5. Chan R. C. The effect of ablation electrode length and catheter tip to endocardial orientation on radiofrequency lesion size in the canine right atrium / R. C. Chan, S. B. Johnson, J. B. Seward, D. L. Packer // Pacing Clin Electrophysiol. — 2002. — Vol. 25. — P. 4.
6. Cooper J. M. Ablation with an internally irrigated radiofrequency catheter: learning how to avoid steam pops / J. M. Cooper, J. L. Sapp, U. Tedrow et al. // Heart Rhythm. — 2004. — Vol. 1. — P. 329.

Рекомендована кафедрою проектування медико-біологічної апаратури ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 11.11.2015

Сичик Марина Михайлівна — асистент кафедри біомедичної інженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»; провідний інженер державної установи

«Національний інститут серцево-судинної хірургії ім. М. М. Амосова Академії медичних наук України», e-mail: marina_bm51@mail.ru;

Максименко Віталій Борисович — д-р мед. наук, професор, декан факультету біомедичної інженерії, Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»; заступник директора з наукової роботи державної установи «Національний інститут серцево-судинної хірургії ім. М. М. Амосова Академії медичних наук України»;

Кравчук Борис Богданович — завідувач лабораторії електрофізіологічних методів дослідження, лікар-хірург.

Державна установа «Національний інститут серцево-судинної хірургії ім. М. М. Амосова Академії медичних наук України», Київ;

Лафета Оксана Олександрівна — студентка факультету біомедичної інженерії.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

M. M. Sychyk^{1,2}
V. B. Maksymenko^{1,2}
B. B. Kravchuk¹
O. O. Lafeta²

Experimental Foundation of Radiofrequency Ablation of Myocardial Tissue for MAZE Operations in the Open Heart

¹The State Institution «Amosov National Institute of Cardiovascular Surgery of the Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv;

²National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

The work is devoted to research of interrelations of separate influence of radiofrequency energy power and electrode temperature to the destruction size of heart areas for using two lengths of electrodes. Effective and safe modes and parameters radiofrequency ablation were designated. Practical implementation of the results of experimental studies reduced the size of the heart tissue destruction at the effective elimination of arrhythmias. Minimum necessary and sufficient characteristics of RF power and temperature influence to correct arrhythmias during surgery Maze were defined.

Keywords: radiofrequency ablation, Maze operation, size of myocardial tissue destruction, generator power, electrode temperature, electrode length.

Sychyk Maryna M. — Assistant of the Chair of Biomedical Engineering; Engineer, e-mail: marina_bm51@mail.ru;

Maksymenko Vitalii B. — Dr. Sc. (Med.), Professor, Dean of the Department of Biomedical Engineering; Assistant Director of Science Department;

Kravchuk Borys B. — Head of the Electrophysiological Laboratory, Doctor-Surgeon;

Lafeta Oksana O. — Student of the Department of Biomedical Engineering

М. М. Сычик^{1,2}
В. Б. Максименко^{1,2}
Б. Б. Кравчук¹
О. А. Лафета²

Экспериментальное обоснование режима радиочастотной абляции тканей миокарда для операции MAZE на открытом сердце

¹Государственное учреждение «Национальный институт сердечнососудистой хирургии им. Н. М. Амосова Академии медицинских наук Украины», Киев;

²Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Исследованы взаимосвязи раздельного влияния мощности и температуры радиочастотной энергии с размерами деструкции участков сердца при использовании двух типоразмеров электродов. Определены эффективные и безопасные режимы и параметры радиочастотной абляции. Практическое внедрение результатов экспериментальных исследований уменьшило размеры деструкции тканей сердца при эффективном устранении аритмий. Таким образом, определены минимально необходимые и достаточные характеристики радиочастотной мощности и температурного воздействия для устранения аритмий при операциях Maze.

Ключевые слова: радиочастотная абляция, операция Maze, размер деструкции ткани миокарда, мощность генератора, температура электрода, размер электрода.

Сычик Марина Михайловна — ассистент кафедры биомедицинской инженерии факультета биомедицинской инженерии; инженер, e-mail: marina_bm51@mail.ru;

Максименко Виталий Борисович — д-р мед. наук, профессор, декан факультета биомедицинской инженерии; заместитель директора по научной работе;

Кравчук Борис Богданович — заведующий лабораторией электрофизиологических методов исследования, врач-хирург;

Лафета Оксана Александровна — студентка факультета биомедицинской инженерии