

УДК 004.891.3

Прогнозування ефективності катетерної радіочастотної абляції аритмогенних зон серця за оцінкою контакту між електродом та тканиною міокарда

Сичик М. М.^{1,2}, Ковшевацька В. В.², Максименко В. Б.^{1,2}, Тарасова Л. Д.^{1,2}

¹Державна установа “Національний інститут серцево-судинної хірургії ім. М.М. Амосова АМН України”, м. Київ, Україна

²Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”, м. Київ, Україна

E-mail: *marina_bm51@mail.ru*

Метою роботи стала розробка методу кількісної оцінки контакту електроду з тканиною міокарда при катетерній радіочастотній абляції, який дозволить виконувати прогнозування ефективності деструкцій шляхом візуалізації їх на тривимірній внутрішній поверхні серця в кольоровому спектрі. Запропоновано оригінальний автоматизований комплекс на основі програмного середовища MATLAB, який може працювати при застосуванні всіх типів катетерів та цифрових даних карт індивідуальної анатомії серця та точок деструкції, що отримуються з системи електро-анатомічного картування Ensite Velocity NavX (St. Jude medical, США). Запропонований комплекс підтвердив свою точність та ефективність під час апробації в клінічній практиці.

Ключові слова: радіочастотна абляція; контакт електроду з міокардом; ефективність; автоматизований комплекс

1 Розгляд проблеми

Відновлення активності міокарда в зоні деструкції є головною причиною рецидиву аритмії після радіочастотної абляції (РЧА). Регулювання глибини деструкції, як правило, здійснюється шляхом вибору типорозміру електроду для абляції, оптимальної потужності струму, тривалості аплікації та досягнення необхідної температури в ділянці взаємодії. Важливим фактором ефективного доставлення до тканини міокарда радіочастотної енергії та утворення надійної деструкції є хороший і стабільний контакт електроду з поверхнею серця [1].

До недавнього часу існували тільки непрямі показники для оцінки дотику електроду з тканиною міокарда, серед яких — рух кінчика катетера разом зі стінкою серця в режимі рентгеноскопії, підйом сегмента *ST* на монополярній електрограмі та зміна імпедансу тканини під час нанесення радіочастотної абляції [2]. Ці методи залишаються найбільш широко-використовуваними в клінічній практиці за рахунок своєї простоти і універсальності, не потребують додаткового спеціалізованого обладнання, проте не є достатньо точними.

З розвитком комп'ютерних технологій, наукоємних алгоритмів управління біофізичними процесами в медицині, зростає інтерес і необхідність створення нових інженерно-технічних та програмних

рішень для кількісної оцінки контакту електроду з тканиною міокарда, візуалізації анатомії ділянки серця в тривимірному просторі та відображення на ній точок РЧА з ефективним та недостатнім деструкційним впливом [3].

На сьогоднішній день існує дві технології для кількісної оцінки і візуалізації сили контакту між кінчиком електроду і тканиною міокарда, що надаються різними компаніями: засновані на деформації пружини (Biosense Webster, США) та зміні опору (St. Jude Medical Inc., США).

SmartTouch Catheter (Biosense Webster, США) являє собою технологію моніторингу сили контакту, інтегровану в кінчик зрошувального катетера Thermocool SmartTouch і систему електро-анатомічного картування CARTO 3. Значення сили контакту візуалізуються різними методами в системі CARTO 3, у вигляді графіків в реальному часі значення, напрямку і сили контакту. Напрямок сили відображається у вигляді колірного кодування стрілки вектора на зображення кінчика катетера [4].

EnSite Contact Therapy (St. Jude Medical, США) представляє інформацію про силу контакту, отриману від вимірювання імпедансу між кінчиком катетера і тканинами міокарда. Локальні активний і реактивний опори, що моніторуються в реальному часі, інтегруються математично в одне значення, яке називається індексом електричного зв'яз-

ку. Індекс електричного зв'язку відображається в системі електро-анатомічного картування **EnSite NavX** трьома способами: у формі прокрутки сигналу; числового значення; і у вигляді кольорового кодування активного електроду катетера [5].

Недоліками цих систем оцінки сили контакту електроду з тканиною серця є неможливість їх використання без спеціалізованого катетера.

2 Постановка задачі

Задачею дослідження стала розробка незалежного автоматизованого комплексу для кількісної оцінки контакту електроду з тканиною міокарда при катетерній радіочастотній абляції, який при застосуванні всіх типів катетерів та цифрових даних карт індивідуальної анатомії серця та точок деструкції, отриманих з наявних систем електро-анатомічного картування, дозволить виконувати прогнозування ефективності РЧ аплікацій шляхом відображення їх на поверхні серця різним кольором.

3 Матеріали та методи

За прототип для розробки було використано спосіб побудови електро-анатомічної моделі серця та нанесення на неї точок РЧ деструкції в навігаційній системі **Ensite Velocity NavX** (St. Jude medical, США). В ній анатомічна модель камери серця представлена сукупністю точок в тривимірному просторі з координатами (x, y, z), сполученими полігональною сіткою в об'ємну структуру. Точки РЧ деструкції також відображаються в системі координат у двох варіантах — позиції електроду в момент абляції (x1, y1, z1) та проєкції аплікації на поверхню моделі серця (x2, y2, z2).

Запропоновано оригінальний підхід експортування даних побудованої індивідуальної анатомії камери серця у цифровому вигляді точок з координатами (x, y, z) з системи **Ensite Velocity NavX** (St. Jude medical, США) в програмне середовище **MATLAB**.

За допомогою функції «*reshape*» відбувається реорганізація даних у матрицю і «*surface*» — відтворення тривимірної моделі внутрішньої поверхні серця методом кінцевих елементів (рис. 1).

Функцією «*plot3*» виконується нанесення на модель точок радіочастотної деструкції в кольоровому спектрі, що відповідає різній відстані електроду до тканини міокарда під час абляції. Вона визначається по формулі розрахунку відстані (L, мм) між двома точками в просторі:

$$L = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} .$$

Точки РЧА розбиваються на чотири групи, в залежності від того на якій відстані електрод знаходиться від міокарда. Від 0 до 2 мм (червоні то-

чки) — хороша сила контакту; від 3 до 5 мм (зелені точки) — середній контакт; від 6 до 8 мм (сині точки) — слабкий контакт; від 9 до 12 мм (фіолетові точки) — контакт відсутній.

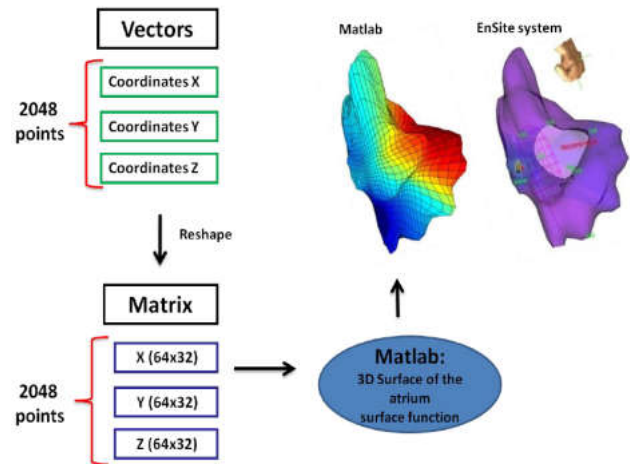


Рис. 1. Методологія побудови тривимірної поверхні камери серця в **MATLAB**

Диференційне розмежування числових значень відстані по ступеню контакту було визначено в ході експериментальних досліджень на видаленому серці свині та в ході клінічних спостережень при застосуванні інших критеріїв оцінки сили контакту та розмірів деструкції (падіння амплітуди на ендограммі абляційного електроду вдвічі, зміна імпедансу тканини в ході РЧА, припинення тахікардії) [6].

4 Результати та обговорення

4.1 Спосіб використання запропонованої методики оцінки контакту електроду з тканиною міокарда при радіочастотній абляції

З навігаційної системи **Ensite Velocity NavX** (St. Jude medical, США), яка використовується для побудови анатомічної карти камери серця, локалізації катетера і точок РЧА, дані операції у цифровому вигляді точок з координатами експортуються в програмне середовище **MATLAB**.

Виконується побудова тривимірної моделі камери серця (рис. 2), яка є математичним відтворенням побудованої анатомічної карти в системі **Ensite Velocity NavX** (рис. 3).

На отриману модель серця наносяться точки РЧА в кольоровому спектрі, який характеризує відстань електроду до тканини міокарда і дає оцінку контакту точок з ефективним та недостатнім деструкційним впливом (рис. 4).

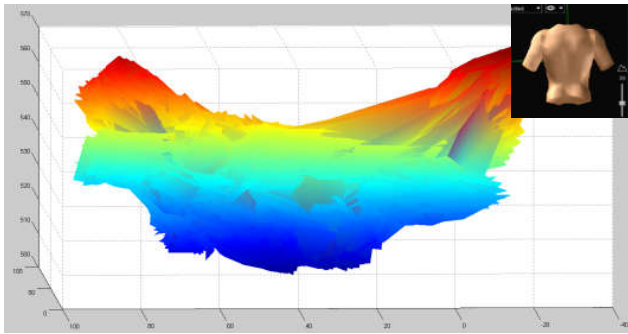


Рис. 2. 3D модель лівого передсердя пацієнта Н. в програмному середовищі MATLAB

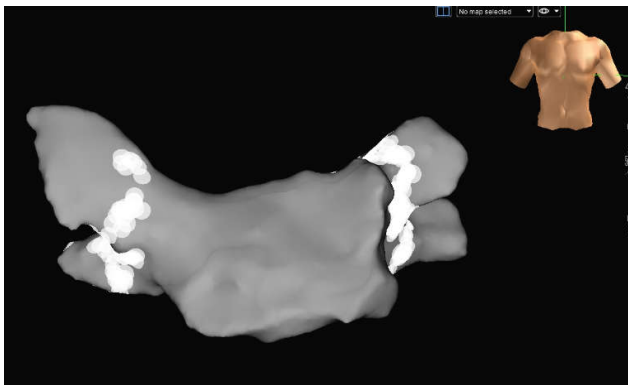


Рис. 3. Анатомічна карта лівого передсердя пацієнта Н. в системі Ensite Velocity NavX (St. Jude medical, США)

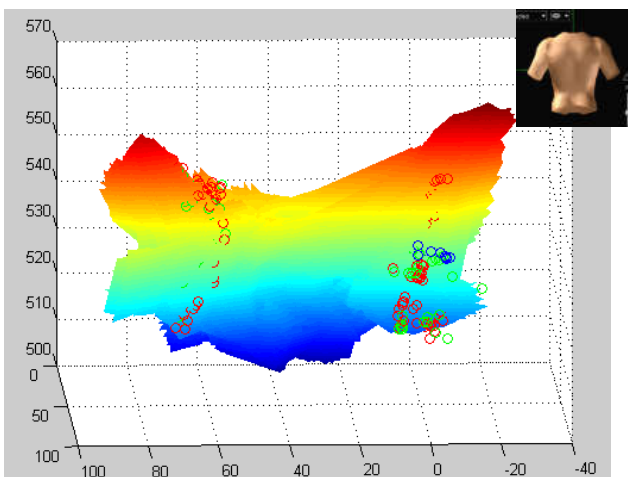


Рис. 4. 3D модель лівого передсердя пацієнта Н. в програмному середовищі MATLAB з відображенням оцінки контакту електроду з тканиною міокарду позначеними різними кольорами точками РЧА: червоні – хороша сила контакту; зелені – середній контакт; сині – слабкий контакт; фіолетові – контакт відсутній

Присутні точки РЧА синього та фіолетового кольору свідчать про те, що сила контакту в цих місцях слабка і відсутня, а отже, деструкція в них є не ефективна і її рекомендується повторити.

4.2 Клінічна апробація запропонованої методики оцінки контакту електроду з тканиною міокарда

Пацієнт Н., 54 р., був прийнятий в Державну установу «Національний інститут серцево-судинної хірургії ім. М.М. Амосова НАМН України» з приводу рецидиву фібриляції передсердь через 1 р. 3 міс. після успішної РЧ ізоляції легневих вен від передсердя, що було підтверджено в операційній відсутністю проведення між ними в ході електрофізіологічного дослідження стимуляційним картуванням із застосуванням навігаційної системи Ensite Velocity NavX (St. Jude medical, США).

Радіочастотна абляція була виконана з наступними параметрами електричного впливу: електрод довжиною 3,5 мм з інтенсивністю активного охолодження 17 мл/хв фізіологічним розчином NaCl ($t = 22 + 1,0^{\circ}\text{C}$), на який подавалася стала потужність 30 Вт, тривалість однієї аплікації 20 сек. і температура в ділянці взаємодії $36-38^{\circ}\text{C}$.

Оскільки відбувся рецидив аритмії, то не всі точки деструкції були ефективні. Для перевірки відновлення провідності між легневими венами та передсердям, при повторній операції в системі Ensite Velocity NavX було виконане електро-анатомічне картування, побудована потенціальна карта лівого передсердя (рис. 5), яка показала в кольорі наявність (фіолетовий, червоний) та відсутність (сірий колір) активності в тканинах міокарда. Відновлення провідності відбулося в ділянках нижньої правої та лівої верхньої легневих вен.

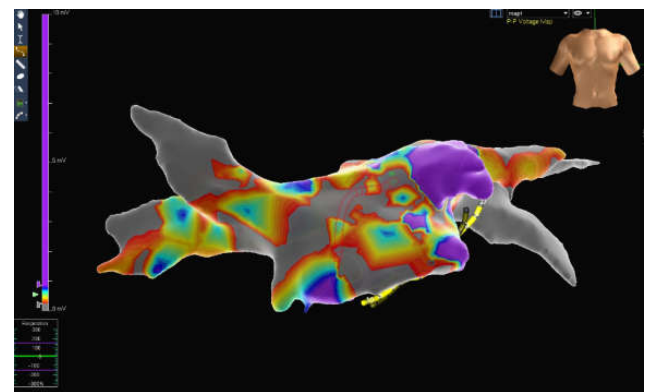


Рис. 5. Електро-анатомічна карта лівого передсердя пацієнта Н. в системі Ensite Velocity NavX (St. Jude medical, США) з рецидивом аритмії після радіочастотної абляції

При виконанні другої операції РЧА, за стандартизованим протоколом, ділянки міокарда, в яких реєструвався пробой для проходження патологічного збудження, повторно піддавалися деструкції електричним струмом. Тахікардія зупинилася і зникли патологічні потенціали на внутрішньо-серцевій ендограмі (рис. 6), у разі нанесення РЧА в ділянці, показаній точками червоного кольору на моделі лівого передсердя в Ensite Velocity NavX (рис. 7).

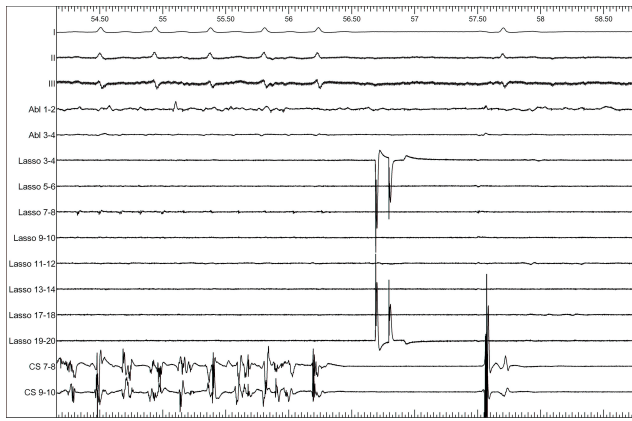


Рис. 6. Реєстрація поверхневої кардіограми та внутрішньо-серцевої ендोगрама пацієнта Н. в момент ефективної радіочастотної абляції

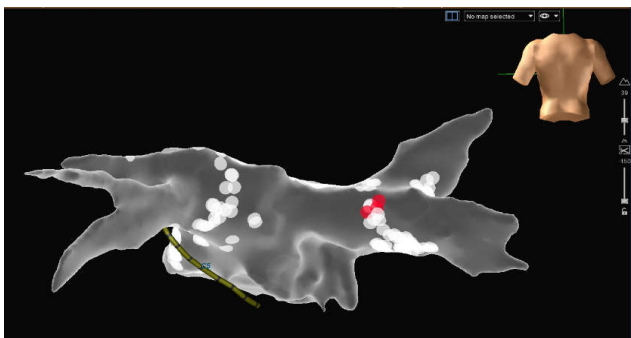


Рис. 7. Електро-анатомічна карта лівого передсердя пацієнта Н. в системі Ensite Velocity NavX (St. Jude medical, США) з ефективними точками радіочастотної абляції

При оцінці ефективності дотику електроду з стінкою поверхні серця першої операції пацієнта Н. в розробленому автоматизованому комплексі в MATLAB, саме ці ділянки визначені синіми та фіолетовими точками (рис. 4), як з недостатнім контактом електроду з тканиною міокарда.

4.3 Використання розробленого методу для прогнозування ефективності радіочастотної абляції аритмогенних зон серця

На сьогоднішній день розроблений метод оцінки контакту електроду з тканиною міокарда при процедурах катетерної РЧА використовують в ДУ «НІССХ ім. М. Амосова НАМН України» для прогнозування ефективності деструкції тканин лівого передсердя навколо легеневих вен та перешийків між венами та клапанами для блокування поширення потенціалів, що приводять до фібриляції та тріпотіння передсердь. Застосування рекомендованого методу проводять у двох напрямках: для оцінки ефективності радіочастотної абляції інтраопераційно для визначення ділянок серця з недостатнім контактом електроду з тканиною міокарда, в яких

рекомендується повторно нанести РЧ аплікації; та при повторних процедурах РЧА з приводу рецидивів аритмій для візуалізації ділянок серця з недостатнім деструкційним впливом першої операції для планування наступного втручання.

Висновки

1. Розроблена оригінальна методика оцінки контакту електроду з тканиною міокарда забезпечує прогнозування ефективності радіочастотної катетерної абляції аритмогенних зон серця та підвищує діагностичну цінність спеціалізованої системи електро-анатомічного картування Ensite Velocity NavX (St. Jude medical, США)
2. Клінічна апробація запропонованого методу при повторних процедурах РЧА з приводу рецидивів аритмій підтвердила локалізацію ділянок серця з недостатнім деструкційним впливом першої операції, що перевірялося за допомогою стандартизованих електрофізіологічних критеріїв відновлення провідності патологічних джерел збудження та електроанатомічного картування внутрішньої поверхні серця і зон рубців, де виконувалися радіочастотні аплікації.
3. На сьогоднішній день триває впровадження розробленої методики в клінічну практику для інтраопераційної оцінки ефективності катетерної радіочастотної абляції шляхом визначення ділянок серця з недостатнім контактом електроду з тканиною міокарда, в яких рекомендується повторити радіочастотні аплікації.

Перелік посилань

1. Andrade J. G. Past, the Present, and the Future of Cardiac Arrhythmia Ablation / J.G. Andrade, L. Rivard, L. Macle // Canadian Journal of Cardiology. — 2014. — Vol. 30, No. 12. — pp. 431-441.
2. Ikeda A. Relationship between catheter contact force and radiofrequency lesion size and incidence of steam pop in the beating canine heart: electrogram amplitude, impedance, and electrode temperature are poor predictors of electrode-tissue contact force and lesion size / A. Ikeda, H. Nakagawa, H. Lambert, D.C. Shah, E. Fonck, A. Yulzari, T. Sharma, J.V. Pitha, R. Lazzara, W.M. Jackman // Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology. — 2014. — Vol. 7, No. 6. — pp. 1174-1180.
3. Shah D. C. Real-Time Contact Force Measurement. A Key Parameter for Controlling Lesion Creation With Radiofrequency Energy / Dipen C. Shah, Mehdi Namdar // Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology. — 2015. — Vol. 8. — pp. 713-721.
4. Thermocool® SmartTouch™ Catheter for the treatment of symptomatic paroxysmal atrial fibrillation. — Режим доступу: <http://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT01385202>

5. Atrial flutter ablation with Contact Therapy™ Cool Path™ Ablation System along with EnSite Velocity Contact System (Contact_AFL). Режим доступу : <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT01401361>
6. Kumar S. Catheter-tissue contact force determines atrial electrogram characteristics before and lesion efficacy after antral pulmonary vein isolation in humans / S. Kumar, M. Chan, J. Lee, M.C. Wong, M. Yudi, J.B. Morton, S.J. Spence, K. Halloran, P.M. Kistler, J.M. Kalman // *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*. — 2014. — Vol. 25. — pp. 122-129.
7. Shah D.C. Area under the real-time contact force curve (force-time integral) predicts radiofrequency lesion size in an in vitro contractile model / D.C. Shah, H. Lambert, H. Nakagawa, A. Langenkamp, N. Aeby, G. Leo // *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*. — 2010. — Vol. 21, No. 9. — pp. 1038-1043.

References

- [1] Andrade J.G., Rivard L. and Macle L. (2014) Past, the Present, and the Future of Cardiac Arrhythmia Ablation. *Canadian Journal of Cardiology*, Vol. 30, Issue 12, pp. 431-441. DOI: 10.1016/j.cjca.2014.07.731
- [2] Ikeda A., Nakagawa H., Lambert H., Shah D.C., Fonck E., Yulzari A., Sharma T., Pitha J.V., Lazzara R. and Jackman W.M. (2014) Relationship between catheter contact force and radiofrequency lesion size and incidence of steam pop in the beating canine heart: electrogram amplitude, impedance, and electrode temperature are poor predictors of electrode-tissue contact force and lesion size. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology*, Vol. 7, Issue 6, pp. 1174-1180. DOI: 10.1161/CIRCEP.113.001094
- [3] Shah D.C. and Namdar M. (2015) Real-Time Contact Force Measurement. A Key Parameter for Controlling Lesion Creation With Radiofrequency Energy. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology*, Vol. 8, pp. 713-721. DOI: 10.1161/CIRCEP.115.002779
- [4] Thermocool® SmartTouch™ Catheter for the treatment of symptomatic paroxysmal atrial fibrillation. Available at: <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT01385202>
- [5] Atrial flutter ablation with Contact Therapy™ Cool Path™ Ablation System along with EnSite Velocity Contact System (Contact_AFL). Available at: <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT01401361>
- [6] Kumar S., Chan M., Lee J., Wong M.C., Yudi M., Morton J.B., Spence S.J., Halloran K., Kistler P.M. and Kalman J.M. (2014) Catheter-tissue contact force determines atrial electrogram characteristics before and lesion efficacy after antral pulmonary vein isolation in humans. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, Vol. 25, pp. 122-129. DOI: 10.1111/jce.12293
- [7] Shah D.C., Lambert H., Nakagawa H., Langenkamp A., Aeby N. and Leo G. (2010) Area under the real-time contact force curve (force-time integral) predicts radiofrequency lesion size in an in vitro contractile model. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, Vol. 21, Iss. 9, pp. 1038-1043. DOI: 10.1111/j.1540-8167.2010.01750.x

Прогнозирование эффективности катетерной радиочастотной абляции аритмогенных зон сердца по оценке контакта электрода с тканью миокарда

Сычик М. М., Ковшевацкая В. В., Максименко В. Б., Тарасова Л. Д.

Целью работы стала разработка метода количественной оценки контакта электрода с тканью миокарда при катетерной радиочастотной абляции, который позволит выполнять прогнозирование эффективности деструкции путем визуализации их на трехмерной внутренней поверхности сердца в цветовом спектре. Предложен оригинальный автоматизированный комплекс, построенный в программной среде Matlab, который может работать с использованием всех типов катетеров и цифровых данных карт индивидуальной анатомии сердца и точек деструкции, полученных из системы электроанатомического картирования Ensite Velocity NavX (St. Jude medical, США), подтвердил свою точность и эффективность при абляции в клинической практике.

Ключевые слова: радиочастотная абляция; контакт электрода с миокардом; эффективность; автоматизированный комплекс

Predicting of effectiveness of radiofrequency catheter ablation of arrhythmogenic zones in the heart on assessment of electrodes contact with myocardial tissue

Sychyk M. M., Kovskyatska V. V., Maksymenko V. B., Tarasova L. D.

Purpose. This work is devoted to developing of methods for quantify assessment of the electrodes contact with myocardial tissue during catheter radiofrequency ablation, which will allow to perform forecasting destruction efficiency by visualizing them in three-dimensional internal surface of the heart in the color spectrum.

Methodology. Original automated system is developed in the programming environment Matlab, which can work with application of all types of catheters and digital map data of individual anatomy of the heart and destruction points derived from the electro-anatomical mapping system Ensite Velocity NavX (St. Jude medical, USA). The construction of three-dimensional model of the heart is performed and points of radiofrequency destruction are superimposed on it in a color spectrum corresponding to different distances electrode to myocardial tissue during ablation.

Results and practical value. Method of assessing of electrodes contact with myocardial tissue during catheter radiofrequency ablation are confirmed its accuracy and efficiency in clinical practice. It is introduced in State Institution "M.M. Amosov National Institute of Cardiovascular Surgery at NAMS of Ukraine" for control and predicting of effectiveness of tissue destruction in the left atrium around pulmonary veins and isthmus between the veins and valves to block the spread of potential that lead to fibrillation and atrial flutter.

Key words: radiofrequency ablation; electrode contact with myocardium; efficiency; automated system