

УДК 616-72:616-71:004.891.3:616.12-008.318.1

Сегментація анатомічних структур серця в програмному середовищі EnSite Verismo при радіочастотній абляції аритмогенних тканин

Філімонова В. В.¹, Сичик М. М.^{1,2}, Тарасова Л. Д.^{1,2}, Кравчук Б. Б.², Бацак Б. В.², Поканевич А. В.²

¹Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”

²Національний інститут серцево-судинної хірургії ім. М.М. Амосова НАМН України

E-mail: viktoryafv@gmail.com

Розроблений алгоритм 3D сегментації лівого передсердя, легеневих вен та стравоходу в програмному середовищі EnSite Verismo. В навігаційній системі EnSite Velocity NavX виконано суміщення побудованої 3D моделі зі зрізів комп’ютерної томографії та електро-анатомічної карти лівого передсердя для проведення по них радіочастотної ізоляції легеневих вен з оцінкою безпечності до розташування стравоходу.

Ключові слова: комп’ютерна томографія; радіочастотна абляція; програмне середовище EnSite Verismo

1 Розгляд проблеми

Катетерна радіочастотна абляція (РЧА) є рекомендованим Асоціацією ради аритмологів Європи і Америки ефективним хірургічним методом лікування фібриляції передсердь [1]. В основі методики лежить термічна деструкція тканин міокарда навколо гирл легеневих вен для блокування проходження патологічних електричних імпульсів і пригнічення тахікардії [2]. При застосуванні виключно рентгенологічного контролю за розташуванням електроду відносно анатомічних контурів серця, спостерігається нетривале усунення аритмії з ранніми післяопераційними рецидивами [3] або перфорація стінки серця та пошкодження прилеглих анатомічних структур (коронарних артерій, стравоходу, діафрагмальних нервів та ін.) [4, 5]. Актуальність теми дослідження полягає у необхідності якісного відображення анатомії лівого передсердя в реальному часі для ефективності операції. Для її безпечності важливим є оцінка прилягання стравоходу до стінки серця [6].

На сьогоднішній день динамічно розвиваються методи візуалізації реальних анатомічних структур на основі обробки DICOM даних комп’ютерної та магнітно-резонансної томографії, в тому числі і для відтворення 3D анатомії серця [7–9].

2 Постановка задачі

Задачею досліджень стала побудова тривимірної моделі анатомічних структур серця та поряд розташованих органів (легеневих вен, стравоходу)

в програмному середовищі EnSite Verismo (St. Jude Medical, США) та впровадження методики в клінічну практику з метою підвищення точності візуалізації, безпечності та ефективності проведення РЧА в умовах рентген-операційної в реальному часі.

3 Матеріали та методи

В роботі використані знімки комп’ютерної томографії (КТ) серця пацієнта Н., отримані у відділенні променевої діагностики Державної установи “Національний інститут серцево-судинної хірургії ім. М.М. Амосова НАМН України”.

Реалізовано підхід для проведення РЧА з програмним забезпеченням EnSite Verismo (St. Jude Medical, США) за наступним алгоритмом:

- Отримання та збереження КТ зрізів пацієнта, (рис. 1а,б) в DICOM форматі.
- Завантаження “сірих” знімків в програмне забезпечення EnSite Verismo (рис. 1в).
- Побудова 3D моделі анатомічних структур серця, легеневих вен та стравоходу (рис. 1г) шляхом сегментації КТ знімків.
- Експорт побудованої тримірної моделі в систему EnSite NavX (St. Jude Medical, США) (рис. 1д).
- Суміщення сегментованої моделі та електро-анатомічної карти в системі EnSite NavX для подальшого проведення по них радіочастотної абляції (рис. 1е).

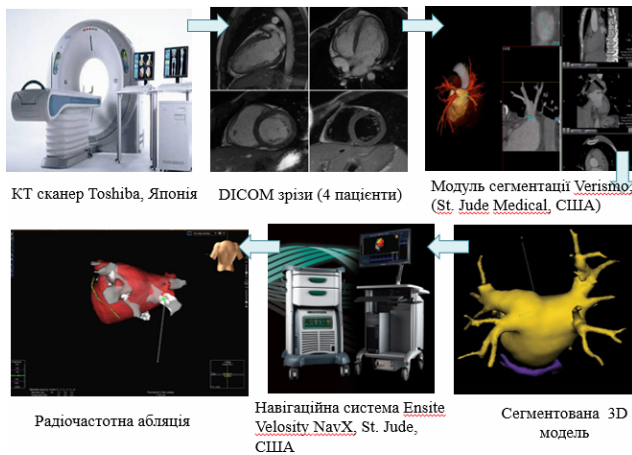


Рис. 1. Алгоритм проведення РЧА

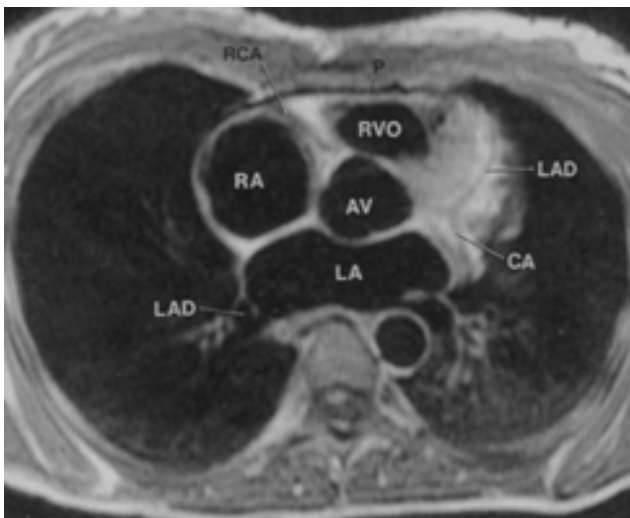


Рис. 2. Анатомічні структури серця: LA – ліве передсердя; CA – огинаюча артерія; LAD – ліва передня низхідна коронарна артерія; AV – клапан аорти; RA – праве передсердя; RVO – виносний тракт ПШ; RCA – права коронарна артерія

Суміщення двох моделей більш точно відображає анатомічні особливості лівого передсердя (ЛП) та розташування інших анатомічних структур (легеневі вени та стравохід). Електро-анатомічна карта відображає як анатомічні особливості, так і електроактиваційну карту проходження збудження і забезпечує нанесення на поверхню серця точок радіочастотної абляції в реальному часі.

4 Результати та обговорення

4.1 Алгоритм сегментації КТ знімків в програмному середовищі EnSite Verismo (St. Jude Medical, США)

Для утворення тримірного зображення в програмному середовищі EnSite Verismo використано поділ зображення на області, для яких виконується певний критерій однорідності. Такою характеристикою обрано яскравість [10].

Програмне середовище основане на пороговому методі, для якого характерні наступні властивості: піксельна дуга об'єднується у дві основні групи в залежності від їх інтенсивності по відношенню до заданої порогової величини; пікселі, які входять в значення діапазону порогів, згруповуються разом та експортуються для подальшої обробки [11–13].

Розроблено алгоритм побудови тримірної моделі серця в програмному середовищі EnSite Verismo (представлений як приклад обробки даних пацієнта Н.):

1. Завантаження КТ зрізів пацієнта.

Зрізи, які були отримані за допомогою комп'ютерної томографії, збережені в DICOM форматі для подальшої роботи в програмному забезпеченні EnSite Verismo.

2. Пошук необхідної частини грудної клітини.

Завантажені зрізи відображають всю грудну клітину пацієнта. Шляхом перелистування зрізів обирається область, де найкраще видно серце та його анатомічні структури (лівий, правий шлуночки, передсердя, аорту та ін. [11]), як це показано на рис. 2.

3. Задання області для сегментації.

Область для сегментації — це область розташування серця, аорти (частково), стравоходу та легеневих вен, які являють інтерес для проведення РЧА. Область виділяється, як показано на рис. 3, окремим блоком.

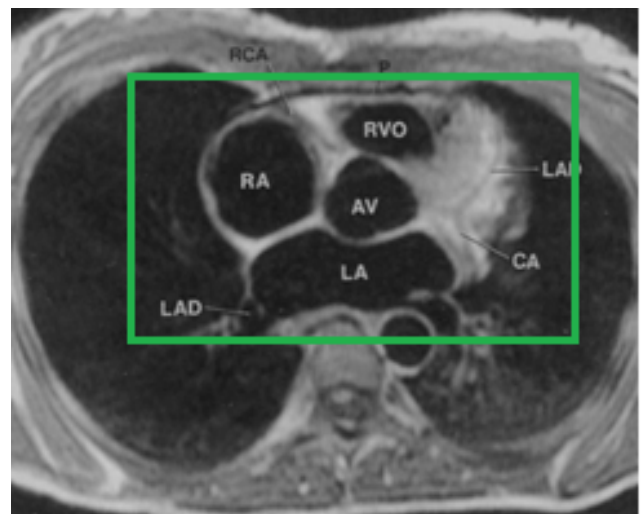


Рис. 3. Область сегментації

4. Вибір сегментаційної порожнини та структури.

Отримані зображення мають високу роздільну здатність. В програмному середовищі EnSite Verismo реалізовано великий перелік можливостей для сегментації різних органів чи тканин.

Визначено, що для побудови об'ємної моделі лівого передсерця, найбільш оптимально використовувати інструмент для порожнин (chamber tool).

Серед поданого переліку обирається структура лівого передсердя (LA). Тут же задається колір її відображення в тримірній моделі. В цьому пункті

також можна блокувати відображення певної структури. Дана операція виконується для того, щоб лікар відокремив ліве передсердя від інших анатомічних структур, камер серця.

5. Вибір точки в необхідній області.

Завдяки розмежувальним контурам різних камер серця обирається область лівого передсердя. У ній фіксується точка (в будь якій з трьох площин) (рис. 4).

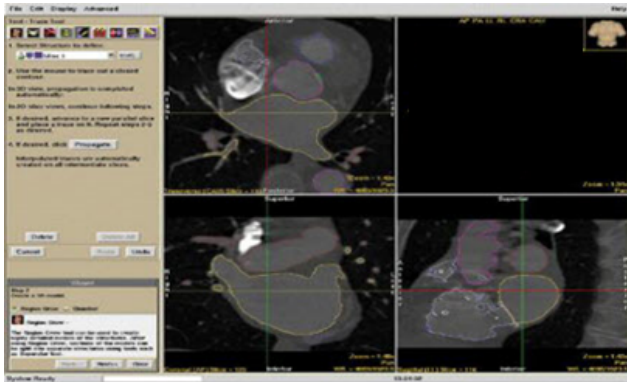


Рис. 4. КТ зображення серця в різних площинах

Відштовхуючись від даної точки певні воксели будуть включені в об'ємну модель, а інші ні в залежності від заданих діапазонів щільності тканини.

6. Вибір оптимальної контрастності.

Контрастність тісно пов'язана з яскравістю зображення. На зображенні КТ грудної клітини є темні і світлі ділянки. Контрастність обирається з шкали, що подається в програмному забезпеченні EnSite Verismo. При зміні значень контрастності змінюється яскравість відтінків сірого чи білого кольору на оброблюваному зображенні. Обирається оптимальне значення контрастності, при якому чітко видно контури анатомічних структур.

7. Вибір оптимальних порогів в залежності від щільності тканини.

Процес сегментації автоматизований з використанням порогового значення сигналу, граничного виявлення і регіональної ідентифікації. Ці змінні мають вирішальне значення для отримання якісних зображень.

Оптимальні порогові значення тоді, коли область лівого передсердя на сірому знімку КТ відділяється повністю, не включаючи в себе додаткових областей або не виключаючи певної частини області. В програмному середовищі в ручну змінюються межі області, що виділяється при зміні значення порогів щільності тканини.

8. Отримання 3D моделей.

Після виконання попередніх пунктів з вибору областей та задання порогів, характеристик, побудова моделі виконується автоматизовано протягом декількох секунд. На екрані відображаються 3D модель лівого передсердя та інших структур (легеневих вен, стравоходу), які являють інтерес.

9. Внесення корективів в ручному режимі.

Проте деяка ступінь візуального редагування завжди потрібна для того, щоб підтвердити, що всі структури були належним чином окреслені і що створена геометрія точно відображає справжню анатомію. У випадку, коли на побудованому зображенні лівого передсердя частково відображається аорта (або інша структура), проводяться корективи в ручному режимі. За допомогою інструменту "Бар'єр" (Barrier) на сірому КТ зображенні проводиться межа між передсердям та аортою, щоб автоматично не враховувалися воксели аорти. Модель лівого передсердя перебудовується без відображення аорти.

Ще одним шляхом вилучення зайвих структур є інструмент "Слід" (Trace), який працює з тривимірною моделлю, дозволяє виділити певну область та видалити її. Проте за допомогою другого варіанту можна позбутися і певної частини лівого передсердя, яка має той же показник по щільності.

4.2 Впровадження в клінічній практиці при проведенні радіочастотної абляції аритмогенних тканин серця

Побудовані за даним алгоритмом тривимірні моделі лівого передсердя, легеневих вен та стравоходу зберігаються в системі EnSite Verismo. Можуть бути експортовані в навігаційну систему електроанатомічного картування EnSite NavX (St. Jude Medical, США) відразу після побудови або пізніше, окремо кожна структура або комплексом.

В навігаційній системі EnSite NavX виконується суміщення двох карт: сегментованої моделі (згідно запропонованого алгоритму) та електроанатомічної карти в системі (побудованої в EnSite NavX шляхом анатомічного картування в електричному полі та математичної обробки методом кінцевих елементів). Для суміщення обираються спільні точки на анатомічних структурах, які відображаються на обох картах (рисунок 5).



Рис. 5. Суміщені моделі (EnSite NavX)

Суміщені карти надають лікарю про особливості анатомічної будови кожної структури, де розташовані легеневі вени, вухко, стравохід, що

значно підвищує ефективність та безпечність проведення радіочастотної абляції.

На сьогоднішній день розроблений підхід використовується при процедурах катетерної РЧА в ДУ «НІССХ ім. М. Амосова НАМН України».

Висновки

1. Розроблений алгоритм сегментації лівого передсердя, легеневих вен та стравоходу для програми EnSite Verismo дозволяє побудувати точну анатомію структур.

2. Побудована 3D модель індивідуальної анатомії серця надає інформацію хірургу, який проводить операцію РЧА, про особливості будови лівого передсердя, показує розташування легеневих вен, щоб в процесі нанесення точок абляції не викликати стеноз легеневих вен; область проходження стравоходу, з метою уникнути або наносити абляцію дуже обережно, щоб не викликати перфорацію стравоходу.

3. 3D модель, доповнена електро-анатомічною картою лівого передсердя, яка показує, окрім анатомії також порядок проходження збудження по серцю і ділянки локалізації аритмії, дозволить підвищити ефективність та безпечність проведення РЧА.

Перелік посилань

1. Atrial fibrillation guidelines across the Atlantic: a comparison of the current recommendations of the European Society of Cardiology/European Heart Rhythm Association/European Association of Cardiothoracic Surgeons, the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association/Heart Rhythm Society, and the Canadian Cardiovascular Society / P. Kirchhof, A.B. Curtis, A.C. Skanes et al. // *European Heart Journal*. – 2013. – Vol. 34, № 20. – P. 1471-1474.
2. Better lesion creation and assessment during catheter ablation / S. Kumar, C.R. Barbhaiya, S. Balindger et al. // *Journal of Atrial Fibrillation*. – 2015. – Vol. 8, № 3. – P. 62-73.
3. Effect and Significance of Early Reablation for the Treatment of Early Recurrence of Atrial Fibrillation After Catheter Ablation / S. Yanagisawa, Y. Inden, H. Kato et al. // *The American Journal of Cardiology*. – 2016. – Vol. 118, № 6. – P. 833-841.
4. Pulmonary vein stenosis and occlusion after radiofrequency Catheter Ablation for atrial fibrillation / J. Yan, C. Wang, R. Du et al. // *International Journal of Cardiology*. – 2013. – Vol. 168, № 2. – P. 68-71.
5. Incidence and clinical characteristics of postcardiac injury syndrome complicating cardiac perforation caused by radiofrequency catheter ablation for cardiac arrhythmias / Y. Liu, C. Wang, R. Zhao et al. // *International Journal of Cardiology*. – 2013. – Volume 168, № 4. – P. 3224-3229.
6. Simplified method for esophagus protection during radiofrequency catheter ablation of atrial fibrillation—prospective study of 704 cases. / J.C. Mateos, E.I. Mateos, T.G. Peña et al. // *Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular*. – 2015. – Vol. 30, № 2. – P. 139-147.

7. The use of imaging for electrophysiological and devices procedures: a report from the first European Heart Rhythm Association Policy Conference, jointly organized with the European Association of Cardiovascular Imaging, the Council of Cardiovascular Imaging and the European Society of Cardiac Radiology / L.C Blomström, A. Auricchio, J. Brugada et al. // *Europace*. – 2013. – Vol. 15, № 7. – P. 927-937.
8. A randomized prospective mechanistic cardiac magnetic resonance study correlating catheter stability, late gadolinium enhancement and 3 year clinical outcomes in robotically assisted vs. standard catheter ablation / A. Arujuna, R. Karim, N. Zarinabad et al. // *Europace*. – 2015. – Vol. 17, № 8. – P. 1241-1250.
9. Assessment of left atrial volumes by 3d ct angiography and 2d echocardiography in patients undergoing atrial fibrillation ablation. / A. T. Yarramaneni, J. Conroy, J. Flanagan, J. Tang, J. Pollack, El. Koss, L. Wang, N. Reichel, J. Cao, M. Kadiyala. // *The Journal of the American College of Cardiology*. – 2015. – Vol. 65., № 10. – P. 409-410.
10. Алгоритм сегментації зображень комп'ютерної томографії на основі використання зрізів з контрастним посиленням тканин / С.М. Алхімова // *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. – 2011. – № 1. – С. 33-41.
11. Cardiac magnetic resonance and electroanatomical mapping of acute and chronic atrial ablation injury: a histological validation study / J.L. Harrison, H.K. Jensen, S.A. Peel et al. // *European Heart Journal*. – 2014. – Vol. 35, № 22. – P. 1486-1495.
12. Visualization of the radiofrequency lesion after pulmonary vein isolation using delayed enhancement magnetic resonance imaging fused with magnetic resonance angiography / K. Kiuchi, K. Okajima, A. Shimane et al. // *Journal of Arrhythmia*. – 2015. – Vol. 31, № 3. – P. 152-158.
13. Left atrial thickness under the catheter ablation lines in patients with paroxysmal atrial fibrillation: insights from 64-slice multidetector computed tomography / K. Suenari, Y. Nakano, Y. Hirai et al. // *Heart Vessels*. – 2013. – Vol. 28, № 3. – P. 360-368.

References

- [1] Kirchhof P., Curtis A.B., Skanes A.C., Gillis A.M., Wann L.S. and Camm A.J. (2013) Atrial fibrillation guidelines across the Atlantic: a comparison of the current recommendations of the European Society of Cardiology/European Heart Rhythm Association/European Association of Cardiothoracic Surgeons, the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association/Heart Rhythm Society, and the Canadian Cardiovascular Society. *European Heart Journal*, Vol. 34, Iss. 20, pp. 1471-1474. DOI: 10.1093/eurheartj/ehs446
- [2] Barbhaiya C., Ng J. and Michaud G.F. (2015) Peri-procedural care for catheter ablation of atrial fibrillation. *Practical Guide to Catheter Ablation of Atrial Fibrillation*, pp. 351-360. DOI: 10.1002/9781118658369.ch26
- [3] Yanagisawa S., Inden Y., Kato H., Fujii A., Mizutani Y., Ito T., Kamikubo Y., Kanzaki Y., Ando M., Hirai M., Shibata R. and Murohara T. (2016) Effect and Significance of Early Reablation for the Treatment of Early Recurrence of Atrial Fibrillation After Catheter Ablation. *The American Journal of Cardiology*, Vol. 118, Iss. 6, pp. 833-841. DOI: 10.1016/j.amjcard.2016.06.045

- [4] Yan J., Wang C., Du R., Yuan W. and liang Y. (2013) Pulmonary vein stenosis and occlusion after radiofrequency Catheter Ablation for atrial fibrillation. *International Journal of Cardiology*, Vol. 168, Iss. 2, pp. e68-e71. DOI: 10.1016/j.ijcard.2013.07.060
- [5] Liu Y., Wang C., Zhao R., Wan D., Xie H., Jin G., Wang J., Lin L., Liu Q. and Bai R. (2013) Incidence and clinical characteristics of postcardiac injury syndrome complicating cardiac perforation caused by radiofrequency catheter ablation for cardiac arrhythmias. *International Journal of Cardiology*, Vol. 168, Iss. 4, pp. 3224-3229. DOI: 10.1016/j.ijcard.2013.04.011
- [6] Mateos J.C.P., Mateos E.I.P., Peña T.G.S., Lobo T.J., Mateos J.C.P., Vargas R.N.A., Pachón C.T.C. and Acosta J.C.Z. (2015) Simplified Method for Esophagus Protection during Atrial Fibrillation Radiofrequency Catheter Ablation - Prospective Study of 704 Cases. *Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular*. DOI: 10.5935/1678-9741.20150009
- [7] Lundqvist C.B., Auricchio A., Brugada J., Boriani G., Bremerich J., Cabrera J.A., Frank H., Gutberlet M., Heidebuchel H., Kuck K., Lancellotti P., Rademakers F., Winkels G., Wolpert C. and Vardas P.E. (2013) The use of imaging for electrophysiological and devices procedures: a report from the first European Heart Rhythm Association Policy Conference, jointly organized with the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI), the Council of Cardiovascular Imaging and the European Society of Cardiac Radiology. *Europace*, Vol. 15, Iss. 7, pp. 927-936. DOI: 10.1093/europace/eut084
- [8] Arujuna A., Karim R., Zarinabad N., Gill J., Rhode K., Schaeffter T., Wright M., Rinaldi C.A., Cooklin M., Razavi R., O'Neill M.D. and Gill J.S. (2015) A randomized prospective mechanistic cardiac magnetic resonance study correlating catheter stability, late gadolinium enhancement and 3 year clinical outcomes in robotically assisted vs. standard catheter ablation. *Europace*, Vol. 17, Iss. 8, pp. 1241-1250. DOI: 10.1093/europace/euu364
- [9] Yarramaneni A.T., Conroy J., Flanagan J., Tang J., Pollack S., Koss E., Wang L., Reichek N., Cao J. and Kadiyala M. (2015) Assessment of left atrial volumes by 3D CT angiography and 2D echocardiography in patients undergoing atrial fibrillation ablation. *Journal of the American College of Cardiology*, Vol. 65, Iss. 10, pp. A1261. DOI: 10.1016/s0735-1097(15)61261-x
- [10] Alkhimova S.M. (2011) Segmentation algorithm of CT-images by using slices with contrast enhancement, *Naukovi visti NTUU "KPI"*, No 1, pp. 33-41.
- [11] Harrison J.L., Jensen H.K., Peel S.A., Chiribiri A., Grøndal A.K., Bloch L., Pedersen S.F., Bentzon J.F., Kolbitsch C., Karim R., Williams S.E., Linton N.W., Rhode K.S., Gill J., Cooklin M., Rinaldi C., Wright M., Kim W.Y., Schaeffter T., Razavi R.S. and O'Neill M.D. (2014) Cardiac magnetic resonance and electroanatomical mapping of acute and chronic atrial ablation injury: a histological validation study. *European Heart Journal*, Vol. 35, Iss. 22, pp. 1486-1495. DOI: 10.1093/eurheartj/eh560
- [12] Kiuchi K., Okajima K., Shimane A., Yokoi K., Teranishi J., Aoki K., Chimura M., Tsubata H., Miyata T., Matsuoka Y., Toba T., Ohishi S., Sawada T., Tsukishiro Y., Onishi T., Kobayashi S., Yamada S., Taniguchi Y., Yasaka Y., Kawai H., Ikeuchi K., Shigenaga Y. and Ikeda T. (2015) Visualization of the radiofrequency lesion after pulmonary vein isolation using delayed enhancement magnetic resonance imaging fused with magnetic resonance angiography. *Journal of Arrhythmia*, Vol. 31, Iss. 3, pp. 152-158. DOI: 10.1016/j.joa.2014.10.003
- [13] Suenari K., Nakano Y., Hirai Y., Ogi H., Oda N., Maki-ta Y., Ueda S., Kajihara K., Tokuyama T., Motoda C., Fujiwara M., Chayama K. and Kihara Y. (2012) Left atrial thickness under the catheter ablation lines in patients with paroxysmal atrial fibrillation: insights from 64-slice multi-detector computed tomography. *Heart and Vessels*, Vol. 28, Iss. 3, pp. 360-368. DOI: 10.1007/s00380-012-0253-6

Сегментация анатомических структур сердца в программной среде EnSite Verismo при радиочастотной абляции аритмогенных тканей

Филимонова В. В., Сычук М. М., Тарасова Л. Д., Кравчук Б. Б., Бацак Б. В., Поканевич А. В.

Разработан алгоритм 3D сегментации левого предсердия, легочных вен и пищевода в программной среде EnSite Verismo. В навигационной системе EnSite Velocity NavX выполнено совмещение построенной 3D модели из срезов компьютерной томографии и электроанатомической карты левого предсердия для проведения по ним радиочастотной изоляции легочных вен с оценкой безопасности к расположению пищевода.

Ключевые слова: компьютерная томография; радиочастотная абляция; программная среда EnSite Verismo

Segmentation of anatomical heart structures in Ensite Verismo software for radiofrequency ablation of arrhythmogenic tissues

Filimonova, V. V., Sychyk, M. M., Tarasova, L. D., Kravchuk, B. B., Batsak, B. V., Pokanievych, A. V.

Review of the problem. The relevance of the research is the need of a high-quality imaging of the left atrium anatomy for the effectiveness of radiofrequency ablation of arrhythmogenic tissue of the myocardium in real time. For its safety it is important to assess the attachment of the esophagus to the wall of the heart. Nowadays, methods of visualization of real anatomical structures are dynamically developed on the basis of data processing of DICOM computer and magnetic resonance imaging, including for the reconstruction of 3D anatomy of the heart.

Purpose of research. The task of the research was to construct a three-dimensional model of the anatomical structures of the heart and the nearby organs (pulmonary veins, esophagus) in EnSite Verismo software environment (St.Jude Medical, USA) and to implement the technique in clinical practice in order to improve the accuracy of visualization, safety and efficacy of RFA in X-ray conditions in real time.

Methodology. The research was carried out at the M.M. Amosov National Institute of Cardiovascular Surgery Ukraine NAMS of Ukraine with the use of modern specialized high-tech medical equipment and clinical materials, computer tomography images (CT) of the patient's heart N. obtained in the radiation diagnostics department and data of the electroanatomic mapping of the patient's heart in the department of treatment of arrhythmias with X-ray surgery. The approach for conducting RFA with the EnSite Verismo software was implemented using the following

algorithm: Receiving and preserving CT scans of the patient in the DICOM format. Downloading “gray” images into the EnSite Verismo software. Construction of a 3D model of anatomical structures of the heart, pulmonary veins and esophagus by the segmentation of CT images. Export of model to the EnSite NavX system (St. Jude Medical, USA). Combination of a segmented model and electroanatomical map in the EnSite NavX system for further radiofrequency ablation. An algorithm for 3D segmentation of the left atrium, pulmonary veins and esophagus in the EnSite Verismo software is developed. It is based on the threshold method of splitting the image into an area for which a certain homogeneity criterion is fulfilled.

Result and conclusions. The developed algorithm for segmentation of the left atrium, pulmonary veins and

esophagus for the EnSite Verismo allows for the construction of an exact anatomy of structures. The 3D model of individual anatomy of the heart provides the information for surgeon during RFA about the features of the structure of the left atrium: the location of the pulmonary veins in order to avoid vein stenosis; the localisation of the esophagus in order to apply ablation very carefully, so as not to make the perforation of the esophagus. A 3D model, supplemented by an electro-anatomical map of the left atrium that shows, in addition to anatomy, the order of activation of heart myocardium and localization of arrhythmia, will increase the efficiency and safety of RFA.

Key words: computer tomography; radiofrequency ablation; EnSite Verismo software