

DOI: 10.25205/978-5-4437-1843-9-362

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОЧАГОВ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРЕДСЕРДИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОТОКОЛА АБЛЯЦИИ ПРИ ИНТЕРВЕНЦИОННОМ ЛЕЧЕНИИ*

APPLICATION OF MACHINE LEARNING TO DETECT ATRIAL FIBRILLATION FOCI AND MODEL THE OPTIMAL ABLATION PROTOCOL FOR INTERVENTIONAL TREATMENT

А. П. Синицына¹, Р. М. Биганов², В. А. Сыровнев¹, О. А. Сергеева³, В. А. Цвелая^{1,4}

¹*Московский физико-технический институт, Долгопрудный*

²*Научный центр сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева, Москва*

³*Городская клиническая больница им. И. В. Давыдовского, Москва*

⁴*Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимировского*

A. P. Sinitsyna¹, R. M. Biganov², V.A. Syrovnev¹, O.A. Sergeeva³, V.A. Tsvelaya^{1,4}

¹*Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny*

²*Bakoulev Center for Cardiovascular Surgery, Moscow*

³*I. V. Davydovsky City Clinical Hospital, Moscow*

⁴*Moscow Regional Scientific Research Clinical Institute named after M. F. Vladimirsky*

✉ sinitsyna.ap@phystech.edu

Аннотация

Один из основных методов лечения аритмий — операция аблляции — показывает недостаточную эффективность, так как более половины пациентов возвращаются на нее повторно. В данной работе продемонстрирована разработка системы тестирования протоколов аблляции, в которой моделируется распространение волны возбуждения в цифровом двойнике предсердия пациента с учетом расположения участков фиброза и электрофизиологических свойств тканей.

Abstract

One of the main methods of treating arrhythmias is ablation surgery, which shows insufficient effectiveness, since more than half of patients return to it again. This paper demonstrates the development of an ablation protocol testing system, which simulates the propagation of an excitation wave in the digital twin of the patient's atrium, taking into account the location of fibrosis and the electrophysiological properties of tissues.

По данным Всемирной организации здравоохранения, сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются наиболее распространенной причиной смертности среди трудоспособного населения [1]. Фибрилляция предсердий (ФП) — одно из наиболее распространенных ССЗ, поражающее до 2 % взрослого населения развитых стран. Основным методом лечения является операция аблляции — создание на поверхности ткани препятствий для ограничения путей возникновения аритмий. Однако показано, что более половины пациентов возвращаются на повторную операцию, так как аритмия возникает вновь в новых условиях.

Основной целью данной работы является разработка системы помощи принятия решения при выборе протокола аблляции. Она сделает возможным тестирование различных протоколов аблляции путем моделирования распространения волны возбуждения в предсердии пациента с учетом расположения фиброзных участков и свойств тканей. Решение данной задачи проводилось с помощью реконструирования 3-мерной формы левого предсердия на основе снимков КТ и МРТ пациента с использованием методов машинного обучения. Также по данным картирования была создана карта фиброзных структур и реконструировано распространение волны возбуждения.

Трехмерная модель левого предсердия была построена двумя способами: путем ручной сегментации МРТ-изображений с контрастом гадолиния с их последующей интерполяцией и при помощи автоматической сегментации КТ-изображений с использованием алгоритмов машинного обучения. Сегментация МРТ проводилась по трем объектам: стенка, пул крови и фиброз. Для сегментации левого предсердия вначале было сегментировано целое сердце со всеми анатомическими структурами при помощи модели глубокого обучения nnUNet [2], затем следовало картографирование сердечных подструктур. Конечным результатом алгоритма являлись 3-мерные модели предсердия пациента. Затем набор изображений переводился в данные для openCARP — среды

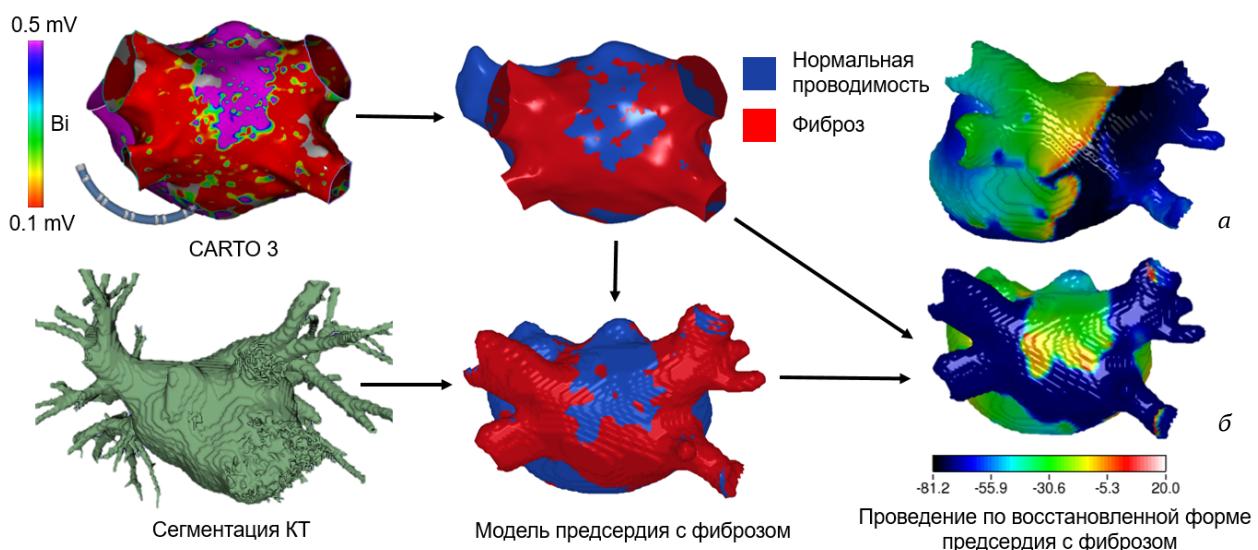
* Исследование выполнено при финансовой поддержке Московского центра инновационных технологий в здравоохранении (грант № 1208-7).

для моделирования волновой динамики [3]. Для воспроизведения правильной картины распространения волн при помощи открытого инструмента AugmentA восстанавливалось направление сердечных волокон предсердия на модели КТ [4].

Следующим шагом стало восстановление участков фиброза по данным электрофизиологической навигационной системы картирования CARTO 3. Фибротические регионы восстанавливались по карте биполярного потенциала с порогом напряжения 0,45 мВ. Участки фиброза переносились на восстановленную из КТ модель предсердия пациента при помощи собственного алгоритма.

В основу проведения волны легла электрофизиологическая модель Contermanche, описывающая аритмогенные процессы в ткани предсердий [5]. Разным морфологическим структурам ткани были присвоены различные значения проводимости, основанные на экспериментальных данных.

Конечным результатом является картина проведения волн возбуждения в трехмерном предсердии с учетом расположения фиброзных участков и их электрофизиологии со значениями потенциала в каждой точке модели предсердия на протяжении времени моделирования (см. рисунок)



Схематическое представление алгоритма наложения данных электроанатомического картирования на модель КТ с последующей симуляцией проведения волны возбуждения. Представлена карта потенциала предсердия пациента до (а) и после (б) проведения операции абляции

Данное исследование имеет потенциал для внедрения в клиническую практику. Система подтвердит эффективность в реальных исследованиях, она может уменьшить время операции (предварительное моделирование оптимальных зон абляции), сократить стоимость лечения за счет сокращения повторных вмешательств и стандартизировать подходы к абляции при фибрилляции предсердий.

Литература

1. Wang H. et al. Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015 // The Lancet. 2016. Vol. 388, No. 10053. P. 1459–1544.
2. Isensee F. et al. nnU-Net: a self-configuring method for deep learning-based biomedical image segmentation // Nature Methods. 2021. Vol. 18, No. 2. P. 203–211.
3. Plank G. et al. The openCARP simulation environment for cardiac electrophysiology // Computer Methods and Programs in Biomedicine. 2021. Vol. 208. P. 106223.
4. Azzolin L. et al. AugmentA: Patient-specific augmented atrial model generation tool // Computerized Medical Imaging and Graphics. 2023. Vol. 108. P. 102265.
5. Courtemanche M., Ramirez R. J., Nattel S. Ionic mechanisms underlying human atrial action potential properties: insights from a mathematical model // American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology. 1998. Vol. 275, No. 1. P. H301–H321.