

УДК 004.855.5; 004.891.3

Создание полуавтоматического алгоритма измерения объема фиброза на МРТ изображениях в рамках 17-ти сегментной модели миокарда левого желудочка.

Зотов Н.М. (ИТМО), Бруй Е.А. (ИТМО), Левчук А.Г. (ИТМО, НИИЦ им. В.А.Алмазова)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Валид Аль-Хайдри (ИТМО)

Введение. В медицинской практике 17-ти сегментная модель миокарда используется при исследовании его перфузии [2] и региональном исследовании левого желудочка для выявления различных аномалий, в том числе и наличия фиброза [3]. Объем и локализация фиброзной ткани миокарда являются объективными прогностическими критериями успешной реваскуляризации миокарда, приводящей к улучшению состояния пациента после хирургического вмешательства [4].

Согласно рекомендациям Американского общества кардиологов (АНА), для построения 17-ти сегментной модели, необходимо разделить левый желудочек двумя плоскостями, перпендикулярными длинной оси сердца, на равные трети: базальный, срединный и апикальный отделы. Миокард базального и срединного отделов далее разделяют на 6 равных сегментов по 60° каждый (сегменты 1-12), а апикальный - на 4 сегмента по 90° (сегменты 13-16). Кроме того, отдельно выделяется миокард верхушки сердца, которому, в рамках модели, присваивается 17-й номер. Далее исследуемый количественный параметр вычисляется для каждого сегмента и наносится на 17-ти сегментную диаграмму.

Несмотря на важность регионарного анализа фиброза в тканях миокарда левого желудочка (ЛЖ), в клинической практике он выполняется вручную, что, в сочетании с проведением морфометрических измерений, например, с выделением на МРТ изображениях фиброза миокарда, является трудоемкой задачей. По этой причине, автоматизация регионарного анализа и создание 17-сегментной модели миокарда по данным МРТ является чрезвычайно актуальной задачей. В данной работе разработан полуавтоматический инструмент для регионарного количественного анализа фиброза миокарда.

Основная часть.

Разработанный инструмент включает в себя несколько функциональных блоков.

1. Модель искусственного интеллекта U-Net для сегментации фиброза миокарда.

Основная цель этого блока - обеспечить точную сегментацию миокарда и фиброза на каждом МРТ-изображении без разделения на 17 сегментов. Для обучения и тестирования данной модели был собран набор данных коротко осевых МРТ-изображений сердца, полученных с помощью импульсной последовательности с фазочувствительным восстановлением инверсии (PSIR). Набор данных состоит из МРТ-данных 100 пациентов. Каждая запись содержала от 9 до 11 2D срезов. Изображения были размечены рентгенологом вручную. Итоговые маски включают в себя: здоровый миокард, фиброзную ткань миокарда и левый желудочек. Гиперпараметры нейронной сети были оптимизированы путем поиска по сетке параметров. Для оценки эффективности сегментации использовался коэффициент Дайса [5].

2. Блок для определения параметров S и P. S обозначает отдел сердца (базальный, срединный, апикальный, верхушка). P присваивается координатам точки между передним и антроепентальными сегментами (для базального и срединного отделов), а также между передним и септальными сегментами для апикального отдела в 17-сегментной модели миокарда. S и P определяются пользователем вручную.

3. Алгоритм разбиения миокарда на 17 сегментов. Алгоритм получает в качестве входных данных маску миокарда с фиброзом, предсказанную нейронной сетью, тип отдела сердца S и точку P. S-параметр используется для определения того, на сколько сегментов следует разделить маску миокарда на данном МРТ-срезе. Разработанный математический алгоритм определяет центр масс маски миокарда, и используя координаты P, разделяет маску

миокарда (совмещенную с маской фиброза) на необходимое количество сегментов.

4. Алгоритм измерения объема фиброза в каждом из 17 сегментов миокарда. В историях болезни обследованных пациентов нет клинической информации о точном количестве фиброза в каждом сегменте миокарда. Однако, в описаниях МРТ исследований присутствует информация о наличии или отсутствии фиброза в каждом из сегментов. По этой причине эффективность алгоритма оценивалась, используя метрики бинарной классификации, такие как точность, полнота, а также F1-оценка, которая определяется как среднее гармоническое значение между точностью и полнотой [6].

5. Визуализация 17-сегментной модели (bull-eye model). Этот блок обеспечивает два типа визуализации 17-сегментной модели миокарда: диаграмму относительного объема фиброза и бинарную диаграмму наличия/отсутствия фиброза.

Выводы. Тестирование обученной каскадной нейронной сети показало следующие результаты в терминах коэффициента DSC (медиана, 25-й и 75-й перцентили): 0,75 [0,64, 0,83] для фиброза и 0,85 [0,79, 0,89] для миокарда. Был создан и протестирован инструмент для полуавтоматического измерения относительного объема фиброзной ткани в разных сегментах миокарда левого желудочка и для визуализации результатов при помощи 17-сегментной диаграммы. Сопоставительный анализ алгоритма с заключениями врачей-рентгенологов показал следующие результаты: 0.60, 0.88, 0.71 по критериям точности (precision), полноты (recall) и F1-меры соответственно. Наш инструмент может быть полезен врачам-кардиологам при диагностике сердечно-сосудистых заболеваний, прогнозировании ответа на терапию и подготовке пациентов к реваскуляризации миокарда.

Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-75-10045

Список использованных источников:

1. Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, Jacobs AK, Kaul S, Laskey WK, Pennell DJ, Rumberger JA, Ryan T, Verani MS; American Heart Association Writing Group on Myocardial Segmentation and Registration for Cardiac Imaging. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart. A statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. *Circulation*. 2002 Jan 29;105(4):539-42. doi: 10.1161/hc0402.102975. PMID: 11815441.
2. Spier N, Nekolla S, Rupprecht C, Mustafa M, Navab N, Baust M. Classification of Polar Maps from Cardiac Perfusion Imaging with Graph-Convolutional Neural Networks. *Sci Rep*. 2019 May 20;9(1):7569. doi: 10.1038/s41598-019-43951-8. PMID: 31110326; PMCID: PMC6527613.
3. Дарий О.Ю.; «Рентгеновская компьютерная и магнитно-резонансная томография в алгоритме предоперационной диагностики у пациентов с гипертрофической кардиомиопатией», 2020
4. K.C. Wu, R.G. Weiss, D.R. Thiemann, K. Kitagawa, A. Schmidt, D. Dalal, S. Lai, D.A. Bluemke, G. Gerstenblith, E. Marban, Tomaselli G.F., Lima J.A., Late gadolinium enhancement by cardiovascular magnetic resonance heralds an adverse prognosis in nonischemic cardiomyopathy, *J. Am Coll Cardiol.*, 2008, 51(25):2414-2
5. Dice, L.R. (1945) Measures of the Amount of Ecologic Association between Species. *Ecology*, 26, 297-302. <http://dx.doi.org/10.2307/1932409>
6. Dalianis, H. (2018). Evaluation Metrics and Evaluation. In: *Clinical Text Mining*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78503-5_6