

## Введение

Болезни сердца являются причинами большого числа скоропостижных смертей, в том числе людей не пожилого возраста. В этой связи врачам кардиологам требуется максимально точная и своевременная информация о состоянии сердечной мышцы пациента, которая во многих случаях позволяет своевременно диагностировать ее заболевания и назначить необходимое лечение.

Сегодня одним из наиболее распространенных методов диагностики являются ультразвуковые исследования (УЗИ) сердечно-сосудистой системы (эхокардиография — ЭхоКГ), проводимые с помощью УЗИ-сканеров, которые позволяют кардиологам проводить визуальный анализ УЗИ-изображений сердечной мышцы в различных проекциях. Отметим, что в задачах кардиологии наиболее часто используется апикальная проекция сердца, которая с точки зрения врачей-кардиологов является наиболее информативной, потому что они имеют возможность наносить на УЗИ-изображение сердца в данной проекции эндокардиальный (внутренний) контур левого желудочка (ЛЖ), проводить анализ его формы и измерять соответствующие размеры ЛЖ. Знание размеров ЛЖ, в свою очередь, дает возможность вычислить количественные показатели, характеризующие состояние сердечной мышцы, например сократимость ЛЖ.

Сегодня в соответствующем сегменте рынка медицинского оборудования представлены УЗИ-сканеры различных производителей (Philips, Aloka Hitachi, Toshiba, Siemens, General Electric и др.), которые оснащены соответствующим инструментарием для построения вручную контура ЛЖ на УЗИ-изображениях сердца в апикальной проекции. С его помощью врачи-кардиологи на основе собственных представлений о форме ЛЖ, зачастую субъективных, строят на УЗИ-изображении контур ЛЖ. (Например, им вынуждено приходится достраивать границы областей сердца на низкоконтрастных участках УЗИ-изображений (рис. 1,а), а также в ряде случаев сглаживать контур ЛЖ, игнорируя при этом на изображении некоторые контрастные области, которые врач считает артефактами (рис. 1,б).) Отметим, что несмотря на имеющиеся рекомендации американской кардиологической ассоциации [1], обобщить опыт оконтуривания ЛЖ сердца на УЗИ-изображениях в виде некото-

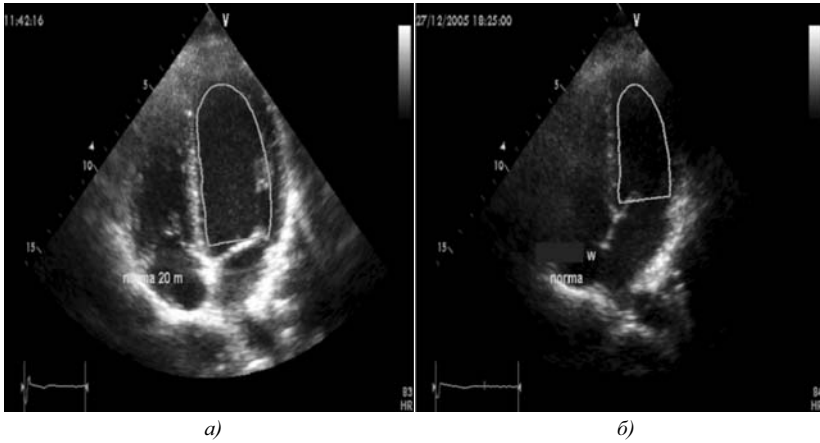


Рис. 1. Примеры УЗИ-изображений и экспертных контуров: *а* — низкий контраст тканей сердца; *б* — с контрастными артефактами внутри области ЛЖ

рого набора правил врачам-кардиологам до настоящего времени не удалось. В этой ситуации разработка полуавтоматических и автоматических алгоритмов для построения контуров ЛЖ является актуальной.

Сегодня известно большое число работ, авторы которых предпринимали попытки разработки и реализации алгоритмов оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях сердца с использованием:

- геометрических моделей (М. Mignotte [2], А. Mishra [3], О. Gerard [4], Л. Jacobs [5]);
- методов уровневых множеств (N. Lin [6], J. Yan [7], F. Galluzzo [8], С. Fabbri [9], С. Corsi [10], В. Цибанов [11]);
- алгоритмов, основанных на вычислении оптического потока пикселей изображения (J. Pedrosa [12], J. Nascimento [13], D. Barbosa [14]);
- статистических моделей контуров ЛЖ (А. Ятченко [15], F. Orderud [16], М. Stralen [17], J. Hansegard [18], D. Barbosa [19], Л. Maes [20], D. Boukerroui [21]);
- методов морфологической обработки УЗИ-изображений (J. Klingner [22], М. Chou [23]);
- искусственных нейронных сетей (Е. Alcevska [24], О. Oktay [25], S. Leclerc [26], О. Bernard [27], J. Pedrosa, N. Azarmehr [28], G. Coppini [29], А. Ostvik и др. [30, 31, 32]).

Также отметим работы (J. Noble [33], К. Leung [34]), в которых сделаны обзоры наиболее значимых результатов в выбранной предметной области на момент их написания. Однако универсальных ал-

горитмов, пригодных к различным наборам УЗИ-изображений, создать так и не удалось. В этой связи проведение дальнейших исследований в области методов компьютерного анализа УЗИ-изображений сердца является актуальным.

Объектом проведенного исследования являются компьютерные методы обработки и анализа УЗИ-изображений сердца, предметом исследования — полуавтоматические и автоматические компьютерные методы оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях сердца.

Цель исследования состояла в научно обоснованной разработке математического и алгоритмического обеспечения для полуавтоматического и автоматического оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях апикальной проекции сердца человека на основе обоснованного выбора набора первичных данных, а также адаптации известных алгоритмов, используемых в задачах компьютерного зрения, к решаемой задаче.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие основные задачи исследования.

1. Анализ состояния предметной области и инструментов для оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях, поставляемых с УЗИ-сканерами.

2. Оценка возможности использования доступных наборов УЗИ-изображений сердца для разработки полуавтоматических и автоматических алгоритмов оконтуривания ЛЖ.

3. Разработка полуавтоматических и автоматических алгоритмов оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях апикальной проекции сердца на основе адаптации и модернизации известных алгоритмов компьютерного зрения к решаемой задаче.

4. Сравнительный анализ точности разработанных полуавтоматических и автоматических алгоритмов оконтуривания ЛЖ.

К новым научным результатам, полученным в проведенном научном исследовании, следует отнести:

- проведение комплексного анализа доступных наборов данных, содержащих УЗИ-изображения сердца и размеченные экспертами контуры ЛЖ, и обоснование возможности их использования для разработки и исследования полуавтоматических и автоматических алгоритмов оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях сердца человека;
- разработка на основе адаптации и модернизации известных алгоритмов компьютерного зрения к особенностям решаемой задачи научно обоснованных полуавтоматических и автоматического алгоритмов оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях сердца;

- разработка научно-обоснованной методики количественного сравнения разработанных полуавтоматических и автоматических алгоритмов оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях сердца.

Практическая значимость исследования заключается:

- в обосновании достаточности использования 9 базовых точек экспертного контура ЛЖ для его восстановления;
- научно-обоснованном выборе параметров известных и модифицированных полуавтоматических и автоматического алгоритмов оконтуривания ЛЖ, обеспечивающих наилучшее качество оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях по коэффициенту *Dice*;
- разработке программных реализаций полуавтоматических и автоматических алгоритмов оконтуривания ЛЖ на УЗИ-изображениях сердца, готовых к использованию врачами-кардиологами.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием известных математических методов, адекватных задачам исследования, а также их согласованностью с результатами, полученными другими авторами, и с экспертными оценками врачей-кардиологов качества контуров ЛЖ на УЗИ-изображениях.

Авторы надеются, что результаты изложенные в монографии, окажутся полезными для специалистов в области компьютерных методов анализа биомедицинских УЗИ-изображений.