

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОЙ ОБРАБОТКИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ НОВЫХ ПРИЗНАКОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

к.т.н. Е.О. Крахмалова, Марио Тейшейра, А.В. Харченко
(представил д.т.н., проф. В.П. Чумаков)

В статье предлагается использовать методы вторичной обработки ультразвуковых изображений, позволяющие выделять геометрические центры полостей сердца и строить годографы их перемещения в кардиоцикле. Сравнение полученных годографов с эталонными позволит диагностировать сердечно-сосудистые заболевания, приводящие к ремоделированию сердечных структур.

Постановка проблемы. Сердечно-сосудистые заболевания, приводящие к ремоделированию сердечных структур, представляют большую опасность для жизни и здоровья пациента. Поскольку своевременно начатая терапия в большинстве случаев приводит к обратному развитию заболевания и восстановлению структур сердца к их первоначальному виду, очень важно быстро и точно поставить пациенту диагноз.

Наиболее информативным методом диагностики такого рода заболеваний является эхокардиография. Однако, при таком заболевании как тромбоэмболия легочной артерии (ТЭЛА), очень сложно поставить диагноз основываясь только на данных эхокардиографии. Дополнительным методом исследования служит ангиопульмонография, но такое исследование занимает много времени, является инвазивным и представляет угрозу для здоровья пациента.

Поскольку морфо-функциональные изменения со стороны сердца при тромбоэмболии легочной артерии являются следствием острой обструкции легочного сосудистого русла тромботическими массами и резкой перегрузки правого желудочка (ПЖ) давлением. Логично предположить, что нарушение геометрии правого желудочка носит специфический характер и может рассматриваться как один из диагностических признаков острой ТЭЛА. Однако произвести интегральную оценку нарушений геометрии полостей сердца и их кинетики затруднительно без использования дополнительных методов обработки ультразвуковых изображений.

Анализ литературы. Описаны ультразвуковые критерии ТЭЛА, позволяющие судить о степени тяжести обструкции легочного русла, а также проводить мониторинг внутрисердечной гемодинамики на фоне терапии [2 – 4, 6]. ЭХО-КГ признаками острой перегрузки правых отделов сердца и легочной гипертензии являются: отношение времени ускорения легочного кровотока к общей длительности легочного кровотока ($AcT/ET < 0,36$; среднее давление в легочной артерии $> 24,6$ мм.рт.ст.), увеличение передне-заднего диастолического размера правого желудочка, измеренного в парастернальной позиции по длинной оси более 2,9 см, дилатация ствола ЛА более 3,0 см, отношения медиально-латеральных размеров ПЖ/ЛЖ > 1 [4]. Острое ремоделирование ПЖ вследствие возросшей постнагрузки вызывает нарушение кинетики межжелудочковой перегородки и сократительной функции миокарда желудочков в целом.

Известно, что в условиях нормальной атриовентрикулярной проводимости после окончания систолы предсердий наступает систола желудочков. В эту фазу кардиоцикла верхушка сердца почти не изменяет положения, в то время как основание опускается вниз. Считается, что в роли фиксированной опоры для осуществления укорочения мышц во время систолы выступают фиброзное кольцо, а также межжелудочковая перегородка, которая имеет сравнительно большую толщину, расположена практически в центре желудочковой мускулатуры и очень мало укорачивается в период сокращения. Изменение формы и положения сердца происходит в течение обеих фаз систолы (как в фазу напряжения, так и в фазу изгнания). В фазу напряжения наблюдается укорочение оси “основание-верхушка” в результате уменьшения длины волокон перегородки, а также постепенное смещение атриовентрикулярных колец вниз вследствие сокращения папиллярных мышц, что способствует началу быстрого и мощного изгнания крови в магистральные сосуды (аорту и легочную артерию). Выброс крови из правого желудочка в фазу изгнания происходит в результате укорочения свободной стенки ПЖ, движения ее по направлению к межжелудочковой перегородке и смещения к верхушке сердца кольца трехстворчатого клапана; большую роль в этом процессе играет сокращение межжелудочковой перегородки. Изгнание крови из левого желудочка наступает в результате уменьшения диаметра его полости, а также укорочения длинной оси сердца. Во время всей фазы изгнания благодаря постепенному смещению вниз основания сердца и атриовентрикулярного кольца увеличивается объем предсердий. Уменьшается внутрипредсердное давление и создаются благоприятные условия для поступления в них крови из полых и легочных вен [2, 6].

Цель статьи. Для повышения достоверности и сокращения времени диагностики необходимо использовать новые диагностические признаки. Чтобы изучить особенности перемещения геометрического центра правого желудочка, как отражения его острого ремоделирования при ТЭЛА, и использовать их как новый диагностический признак в статье предлагается метод вторичной обработки ультразвуковых изображений, позволяющий покaдрово обрабатывать ультразвуковые изображения в кардиоцикле и строить годографы перемещения геометрических центров желудочков сердца.

Описание исследований. Ультразвуковое исследование проводили по общепринятой методике с одновременной регистрацией ритмограммы 40 пациентам с массивной и субмассивной формами ТЭЛА (18 мужчинам и 22 женщинам), в возрасте от 26 до 64 лет. В качестве контроля использовали данные двухмерной эхокардиографии (ЭХО-КГ) 33 здоровых пациентов. Группы были сопоставимы по возрасту и полу.

Определение геометрического центра правого желудочка и его смещения в процессе сердечных сокращений проводили по изображениям, полученным из 4-камерной верхушечной позиции сердца. Для выделения контуров желудочка использовали локально-адаптивный метод выделения контуров и границ [8]. Для реализации данного метода врачом по определенным правилам расставлялись точки вдоль контура. Затем контур приближенно интерполировался сплайн-кривой, специально модифицированной для уменьшения влияния ошибок расстановки опорных точек [7]. Полученный сплайн уточнялся с использованием адаптивной фильтрации. Т.е. координаты каждой точки сплайн-кривой корректировались на основе объективных данных о положении максимального перепада яркости на изображении. Результаты оконтуривания 6 кадров ультразвукового изображения сердца, эквидистантно расположенных в кардиоцикле с выделенными контурами правого желудочка, представлены на рис. 1.

Полученный контур правого желудочка, описанный детерминированной замкнутой кривой, использовали для вычисления его геометрического центра. Геометрический центр находили с использованием формул для вычисления центра тяжести объектов сложной формы [9]:

$$x_{\text{ц}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \Delta_i}{\sum_{i=1}^n \Delta_i}; \quad y_{\text{ц}} = \frac{\sum_{j=1}^n y_j \Delta_j}{\sum_{j=1}^n \Delta_j}, \quad (1)$$

где x_i и y_i – координаты элементарных площадок изображения.

Очевидно, что

$$\sum_{i=1}^n \Delta_i = \sum_{j=1}^n \Delta_j = s, \quad (2)$$

где s – площадь сечения желудочка.

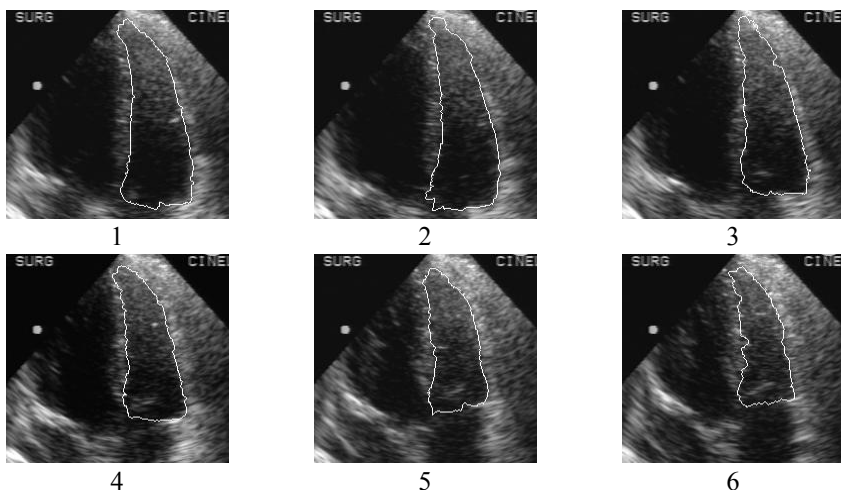


Рис. 1. Динамика сокращения ПЖ в течение 1 кардиоцикла в норме

В процессе вычислений ультразвуковое изображение преобразовывали в двухмерный массив. Точкам, попавшим внутрь замкнутого контура, присваивали значение единицы, а остальным, находящимся за пределами контура, присваивалось значение нуля. В этом случае выражения (1) преобразовывались к виду:

$$x_{ц} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^k i \Delta_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^k \Delta_{ij}}; \quad y_{ц} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m j \Delta_{ji}}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m \Delta_{ji}}. \quad (3)$$

Данная процедура повторялась для каждого кадра в кардиоцикле. Координаты геометрического центра правого желудочка в разные фазы кардиоцикла заносились в массив. Затем с использованием сплайн-интерполяции строилась кривая перемещения геометрического центра правого желудочка в течение одного полного кардиоцикла (годограф) [1]. На рис. 2 приведены примеры годографов геометрического центра правого желудочка в норме и при ТЭЛА.

Теоретически годограф должен представлять собой гладкую замкнутую кривую, однако под влиянием внешних физических воздействий (дыхательные движения, перемещения УЗ-датчика) на фазовой траектории наблюдаются отклонения, и начало кривой не совпадает с ее окончанием. Данные артефакты не оказывают существенного влияния на процесс обработки результатов. Для сглаживания результатов наблюдения, годограф заменяют его полиномиальным трендом (рис. 2, в, г). Величина несоответствия начала и окончания кривой, возможно, несет в себе информацию о влиянии дыхания на перемещение геометрического центра правого желудочка, но в данной статье этот фактор не исследовался.

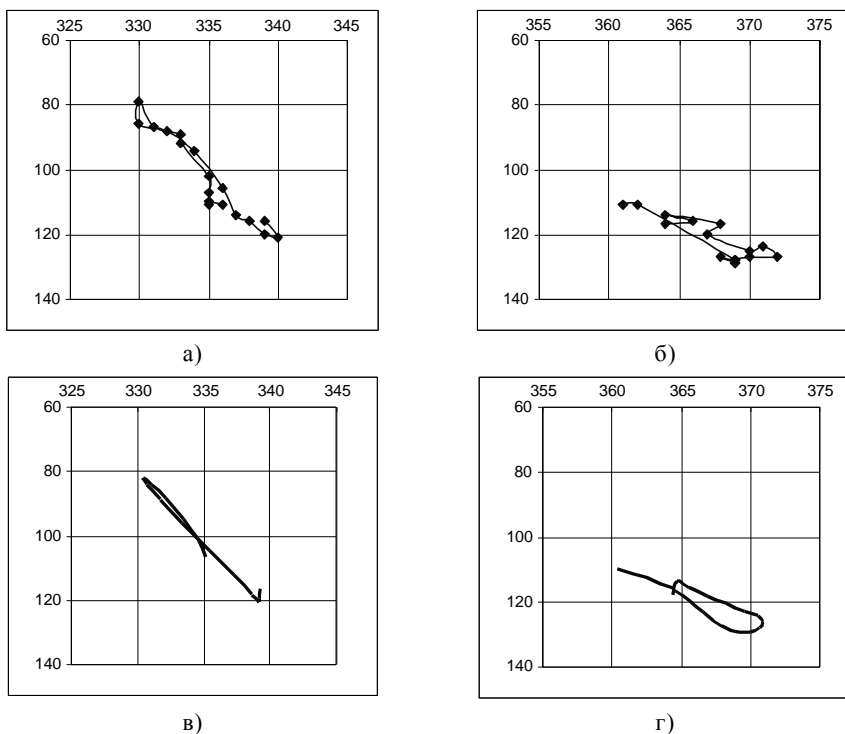


Рис. 2. Примеры годографов геометрического центра правого желудочка в норме и при ТЭЛА: а) годограф геометрического центра ПЖ в норме; б) годограф геометрического центра ПЖ при ТЭЛА; в) тренд геометрического центра ПЖ в норме; г) тренд геометрического центра ПЖ при ТЭЛА

Как видно из рис. 3, в норме и при патологии вектор смещения центра ПЖ (диастола-систола) направлен от базальных отделов желудочка к верхушке, что согласуется с данными литературы [2]. Между тем, оче-

видно, что при ТЭЛА амплитуда вектора смещения геометрического центра намного меньше амплитуды его смещения в норме. Это можно объяснить нарушением кинетики межжелудочковой перегородки, которая является важной составляющей нормального сокращения желудочка [2]. При ТЭЛА, вследствие резкого повышения внутрижелудочкового давления, наблюдается феномен ее “выравнивания”, а иногда и парадоксального движения. Кроме того, причиной кинетических расстройств со стороны ПЖ при ТЭЛА являются острые дистрофические и деструктивные изменения кардиомиоцитов и ишемия миокарда ПЖ [3].

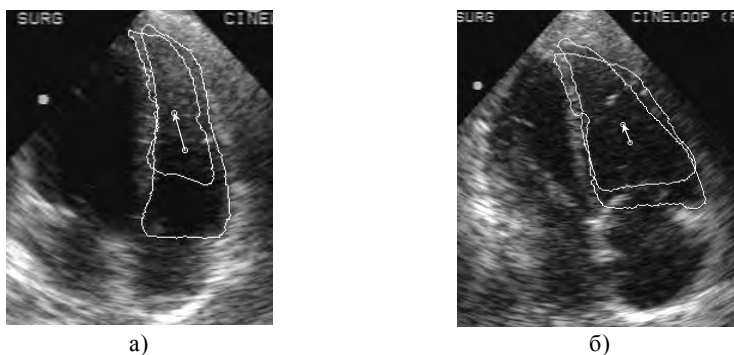


Рис. 3. Смещение контуров и геометрических центров ПЖ в течение одного кардиоцикла а) в норме; б) при ТЭЛА

Выводы. На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Адаптивный метод выделения контуров и границ может быть использован в качестве метода обработки ультразвуковых изображений для построения фазовых траекторий (годографов) перемещения геометрических центров камер сердца.

2. При ТЭЛА отмечаются характерные особенности смещения геометрического центра правого желудочка, что можно рассматривать в качестве диагностического признака данной патологии.

3. Вектор перемещения геометрического центра ПЖ в течение одного кардиоцикла направлен от базальных отделов желудочка к его верхушке, однако амплитуда вектора существенно ниже нормы, что является отражением снижения сократительной функции ремоделированного ПЖ при ТЭЛА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. № 63155А, Україна, МПК 7 А61В8/00. Спосіб діагностики серцево-судинних захворювань / В.В. Бойко, І.А. Криворучко, О.О. Крахмалова,

В.Г. Малюк, О.В. Харченко / № 2003020979. Заявл. 04.02.2003., Опубл. 15.01.2004, бюл. № 1. – 4 с.

2. Долабчан З.Л. Основы клинической электрофизиологии и биофизики сердца: Введение к клинической электромеханокардиологии. – М.: Медицина, 1968. – 475 с.
3. Крахмалова Е.О., Бойко В.В., Харченко А.В., Авдосьев Ю.В. Ишемия правого желудочка: возможности выявления методом двухмерной эхокардиографии // Український кардіологічний журнал. – 2002. – № 5. – С. 79 – 82.
4. Крахмалова Е.О. Ультразвуковые критерии тяжести тромбоэмболии легочной артерии // Врачебная практика. – 2002. – № 4. – С. 56 – 60.
5. Крахмалова Е.О., Криворучко И.А., Харченко А.В. Повышение качества диагностики венозной тромбоэмболии путем использования оригинального метода вторичной обработки ультразвукового изображения // Харківська хірургічна школа. – Х.: ІЗНХ АМН України, 2002. – Вып. 2(3). – С. 26 – 27.
6. Морман Д., Хеллер Л., Физиология сердечно-сосудистой системы // СПб.: Питер, 2000. – 250 с.
7. Харченко А.В. Выделение контуров размытых изображений с использованием полиномиальной интерполяции // Проблемы бионики. – Х.: ХНУРЭ, 2001. – Вып. 55. – С. 78 – 79.
8. Харченко А.В. Локально-адаптивная фильтрация изображений с размытыми границами // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Проблемы информатики и моделирования». – Х.: НАНУ, НТУ «ХПУ», 2003. – С. 10.
9. Генкин В.Л. и др. Системы распознавания автоматизированных производств / В.Л. Генкин, И.Л. Ерош, Э.С. Москалёв. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1988. – 246 с.

Поступила 14.01.2004

КРАХМАЛОВА Елена Олеговна, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, заведующая отделением клинко-инструментальной и ультразвуковой диагностики Института общей и неотложной хирургии АМН Украины. В 1986 году окончила Харьковский государственный медицинский университет. Область научных интересов – изучение морфо-функциональных изменений сердечно-сосудистой системы, состояния гомеостаза и усовершенствование лечебной тактики тромбоэмболической болезни и ее осложнений.

ТЕЙШЕЙРА Марио, аспирант. В 1990 году окончил Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина. Область научных интересов – новые принципы диагностики в медицине.

ХАРЧЕНКО Алексей Викторович, инженер отделения клинко-инструментальной и ультразвуковой диагностики Института общей и неотложной хирургии АМН Украины. В 2001 году окончил Национальный аэрокосмический университет «ХАИ». Область научных интересов – вторичная обработка ультразвуковых изображений и программно-аппаратные методы выделения признаков сердечно-сосудистых заболеваний.