

ОРИГІНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Морфологические основы динамических характеристик миокарда левого желудочка сердца



**Е. М. Трёмбовецкая, Г. В. Кнышов, В. П. Захарова,
Е. В. Руденко, М. Н. Мороз**

ГУ «Национальный институт сердечно-сосудистой хирургии имени Н. М. Амосова НАМН Украины», Киев

Цель работы — изучить особенности трехмерной организации миокарда левого желудочка (ЛЖ) сердца человека и сопоставить морфологические данные с результатами спекл-трекинг эхокардиографии.

Материалы и методы. Работа построена на анализе результатов спекл-трекинг эхокардиографии сердец 35 здоровых добровольцев; макропрепарирования 20 свиных сердец, микроскопии серийных гистологических срезов 14 сердец плодов 22 недель гестации и 3 здоровых сердец взрослых людей.

Результаты и обсуждение. Верхушечные сегменты деформируются только за счет ротации против часовой стрелки. Внутренняя поверхность «водворота» верхушки представлена разрозненными пучками кардиомиоцитов (КМЦ), которые идут косо против часовой стрелки и соединяются с продольно ориентированными трабекулами. В средней части ЛЖ большинство КМЦ расположены циркулярно, но их массив пересекают тонкие продольные мышечные пучки. Движение миокарда этой зоны направлено к центру полости и в сторону верхушки ЛЖ. Миокард базальных сегментов на уровне атрио-вентрикулярной борозды заворачивается в полость ЛЖ и там соединяется с базальными концами трабекул. Фиброзные кольца митрального и аортального клапанов также имеют соединения с трабекулами. Позади устья аорты расположен вертикальный мышечный тяж, от которого в разные стороны отходят миоцитарные волокна. Они создают сложный циркулярный слой базальных сегментов ЛЖ. Последние во время систолы демонстрируют максимальное продольное смещение и одновременно — ротацию по часовой стрелке.

Выводы. Миокард является сложной, замкнутой синцитиоподобной структурой. Траектория движения миокарда определяется: а) направлением КМЦ в компактном слое желудочковой стенки; б) трабекулами и задним вертикальным мышечным тяжем, которые служат динамическими точками опоры для компактного миокарда. Выброс крови из ЛЖ осуществляется благодаря констрикции, продольному смещению основания к верхушке и одновременно — эффекту скручивания за счет разнонаправленной ротации верхушки и основания.

Ключевые слова: сердце, миокард, левый желудочек, морфология, спекл-трекинг эхокардиография.

В настоящее время существует ультразвуковая технология спекл-трекинг эхокардиография, позволяющая визуализировать положение любой точки движущегося миокарда в реальном времени и дающая возможность оценить векторы движения разных отделов сердца, в том числе — левого желудочка (ЛЖ) [11–13]. С помощью этого метода показано, что систола ЛЖ реализуется не только за

счет движения его стенок в радиальном направлении к центру полости, но также за счет ротации и движения его сегментов вдоль продольной оси [7]. Он также позволяет оценить изменения векторов движения всего миокарда или отдельных его сегментов при некоторых патологических состояниях. Однако данные о функции миокарда, полученные с помощью спекл-трекинг эхокардиографии, были бы более информативными, если бы они имели определенный морфологический эквивалент.

Структурной единицей миокарда является кардиомиоцит (КМЦ) — клетка, концы которой расщеплены под разными углами. Соединяясь между собой этими концами, КМЦ формируют трехмерный синцитиоподобный миоцитарный пучок с параллельно ориентированными мышечными

Стаття надійшла до редакції 14 липня 2015 р.

Трёмбовецкая Елена Михайловна, к. мед. н.,
лікар вищої категорії, ст. наук. співр.
Тел. (44) 275-64-00. E-mail: lenatremboff@mail.ru

© О. М. Трёмбовецкая, Г. В. Кнышов, В. П. Захарова, О. В. Руденко,
М. М. Мороз, 2015

волокнами [9]. Но однонаправленные волокна могут формировать стенки только цилиндрических структур, которые могут сокращаться только в одном продольном направлении. Вместе с тем, камеры сердца, и в том числе ЛЖ, имеют сложную конфигурацию и движутся, как уже говорилось, по сложной траектории.

Для ответа на вопрос, как миокард обеспечивает сложную механику работы сердца, необходимо знать особенности его интрамуральной архитектоники. Традиционное представление о трехслойном строении миокарда [9] вызывает сомнения, потому что разнонаправленные слои, постоянно двигаясь в разные стороны, не могут долгое время сохранять по плоскости соприкосновения непрерывность синцитиоподобной мышечной ткани. Если же эти слои изолированы друг от друга, как мышцы скелетной мускулатуры, то между ними должно возникнуть трение, что значительно снижало бы прочность и коэффициент полезного действия миокарда.

В настоящее время популярна концепция строения миокарда, предложенная F. Torrent-Guasp. Она построена на основании разработанной автором оригинальной методики препарирования сердца [15]. Согласно этой концепции, миокард представляет собой единую, сложно «уложенную» мышечную ленту. Однако модель Torrent-Guasp лишь обозначает доминирующие направления пучков, не решая проблемы трехмерной организации миокарда, что подчеркивает и сам автор.

Цель работы — изучить особенности трехмерной организации миокарда левого желудочка сердца человека и сопоставить морфологические данные с результатами спекл-трекинг эхокардиографии.

Материалы и методы

Механическую функцию ЛЖ изучали у 35 здоровых молодых добровольцев с помощью ультразвуковой технологии спекл-трекинг [11–13]. Для оценки движения разных участков ЛЖ использовали схему его сегментарного деления, предложенную Американской ассоциацией эхокардиографии [13].

Продольное смещение сегментов миокарда ЛЖ исследовали в трех стандартных (четырёхкамерный (4С), трёхкамерный (3С) и двухкамерный (2С)) продольных срезах, полученных из апикального доступа, и измеряли в миллиметрах (мм).

Для исследования ротационных показателей использовали три поперечных среза, проходящих на базальном, среднем и верхушечном уровнях ЛЖ. Ротационное движение ЛЖ рассчитывали в градусах и описывали следующими параметрами: вращение, отражающее угловое смещение сегмента миокарда в позиции по короткой оси вокруг длинной оси ЛЖ, и скручивание, которое представляет собой

разницу между вращениями верхушки и базального отдела ЛЖ (измеряется в этих двух поперечных сечениях ЛЖ по короткой оси) [11–13].

Информацию по всем показателям регистрировали цифровыми значениями и в виде кривых.

Статистическую обработку результатов проводили после создания базы данных в программе Microsoft Excel, пользуясь методом вариационной статистики для средних величин. Все значения представлены в виде $M \pm m$, где M — среднее значение показателя, m — стандартная погрешность средней. При сравнении средних величин пользовались коэффициентом Стьюдента для определения их достоверности. Различия показателей считали достоверными при $p < 0,05$.

Исследования проводили на макро- и микроскопическом уровнях. Общие закономерности устройства миокарда ЛЖ оценивали с помощью различных методик анатомического препарирования. В частности, 10 свиных сердец были обработаны по методу, предложенному F. Torrent-Guasp [15]. Кроме того, 10 свиных сердец подвергались послойному препарированию миокарда по методу А. С. Гуляевой и И. М. Роцевской [8]. Основной принцип строения миокарда является общим для всех млекопитающих [1], поэтому результаты, полученные при морфологических исследованиях сердца свиньи, можно экстраполировать на человека.

Гистологическое строение миокарда человека изучали на серийных срезах желудочков 14 сердец плодов 22 недель гестации (беременность была прервана в связи с тяжелой врожденной патологией, не связанной с сердцем). Выбор материала обусловлен тем, что размеры этих сердец позволяли полностью разместить их срезы на одном предметном стекле, не нарушая архитектоники миокарда. По общепринятой методике из десяти сердец изготавливали поперечные серийные парафиновые срезы, начиная от верхушки к основанию. Два сердца резали вдоль продольной оси во фронтальной плоскости и два — в сагиттальной плоскости. Срезы окрашивали гематоксилином и эозином.

Кроме того, на секционном материале морфологическому исследованию были подвергнуты три здоровых сердца взрослых людей. В этих сердцах на базальном, среднем и апикальном уровнях вырезали фрагменты для гистологического исследования передней, боковой и задней стенок ЛЖ, а также межжелудочковой перегородки (МЖП). Гистологические срезы окрашивали гематоксилином и эозином, а также с использованием метода MSB в модификации Зербино — Лукасевич [3].

Результаты

Спекл-трекинг эхокардиографические исследования ЛЖ показали, что в систолу векторы продольного смещения сегментов ЛЖ всегда имеют

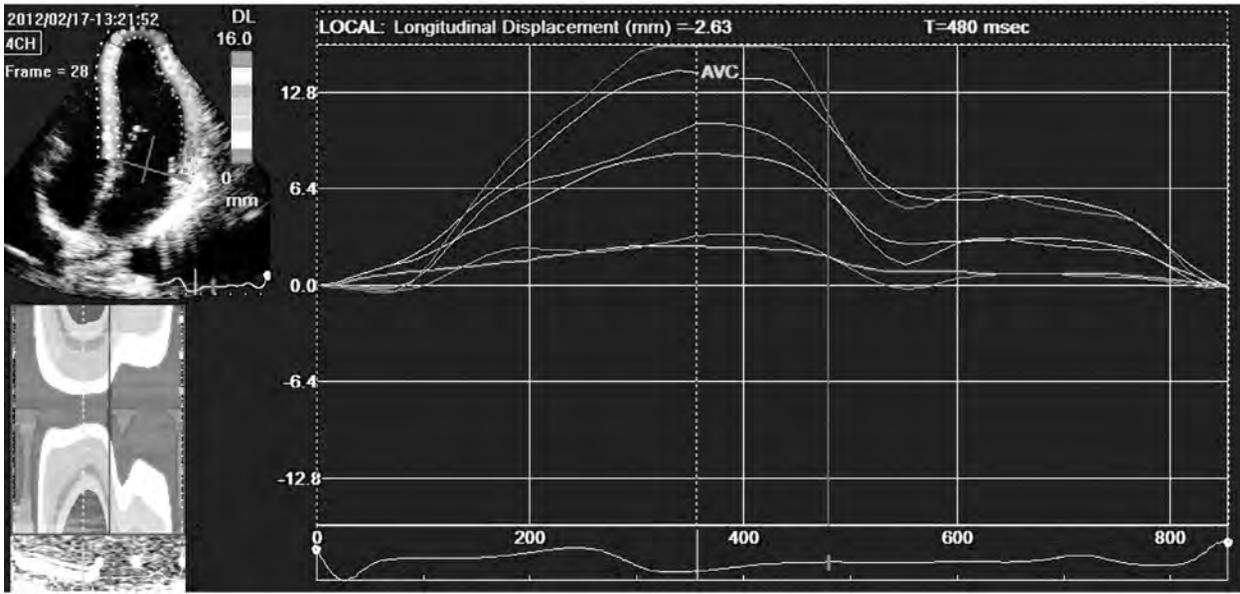


Рис. 1. Пример продольного смещения разных сегментов миокарда ЛЖ в четырехкамерном апикальном срезе у здорового добровольца

позитивные значения, то есть направлены в сторону верхушки ЛЖ. При этом все кривые, с помощью которых графически изображается смещение, расположены выше изолинии, а на цветной шкале этим векторам соответствуют оттенки красного цвета (рис. 1). В диастолу наблюдается постепенное возвращение стенок ЛЖ к первичному их положению.

Амплитуда продольного смещения миокарда ЛЖ во всех стенках всегда была максимальной на уровне базальных сегментов, несколько меньшей в среднем срезе, и становилась минимальной в области верхушки (табл. 1). Так, в четырехкамерном срезе продольное смещение в апикальном отделе нижеперегородочной области составило $(3,2 \pm 0,9)$ мм, а в базальном отделе — $(18,4 \pm 1,8)$ мм. В боковой стенке ЛЖ апикальный сегмент также практически не смещается ($(4,8 \pm 2,3)$ мм), а базальный смещается на $(19,0 \pm 3,2)$ мм. Такая же тенденция наблюдается и в остальных стенках ЛЖ (см. табл. 1). Это можно объяснить тем, что верхушечная часть перикарда фиксирована к диафрагме. Герметичная полость перикарда содержит небольшое количество жидкости, которая, как известно, не растягивается. Поэтому верхушка сердца не движется в сторону основания.

Вместе с тем, в этом отделе максимально выражен ротационный компонент движения, направленный против часовой стрелки (значения поворота верхушки — положительные) (рис. 2). Максимальный показатель ротации апикального отдела ЛЖ составил $(12,5 \pm 1,1)^\circ$ (табл. 2).

Миокард базальных сегментов ротировался в среднем на $(-8,3 \pm 1,4)^\circ$, но по часовой стрелке. За счет этого суммарный угол систолического скручивания миокарда составлял $20,8^\circ$.

Ротационное движение в среднем срезе ЛЖ на уровне папиллярных мышц практически равняется нулю, так как часть сегментов смещается в направлении по часовой стрелке, подобно базальному срезу, тогда как другие сегменты смещаются, как верхушка. При этом происходит как бы ниве-

Т а б л и ц а 1
Показатели максимального продольного смещения миокарда ЛЖ в стандартных продольных срезах сердца у здоровых добровольцев (n = 35)

Срез	Стенка	Сегмент	Норма (n = 35)
4C	Нижне-перегородочная	Базальный	$18,4 \pm 1,8$
		Средний	$11,7 \pm 1,5$
	Боковая	Верхушечный	$3,2 \pm 0,9$
		Верхушечный	$4,8 \pm 2,3$
3C	Передне-перегородочная	Средний	$11,9 \pm 2,7$
		Базальный	$19,0 \pm 3,2$
	Задняя	Базальный	$18,7 \pm 1,3$
		Средний	$10,2 \pm 0,7$
2C	Передняя	Верхушечный	$3,8 \pm 1,1$
		Верхушечный	$3,6 \pm 0,7$
	Нижняя	Средний	$10,9 \pm 1,1$
		Базальный	$17,3 \pm 1,4$
2C	Передняя	Базальный	$17,0 \pm 2,4$
		Средний	$10,4 \pm 2,6$
	Нижняя	Верхушечный	$3,4 \pm 1,8$
Верхушечный		$3,2 \pm 1,1$	
2C	Нижняя	Средний	$10,2 \pm 1,8$
		Базальный	$18,2 \pm 1,9$

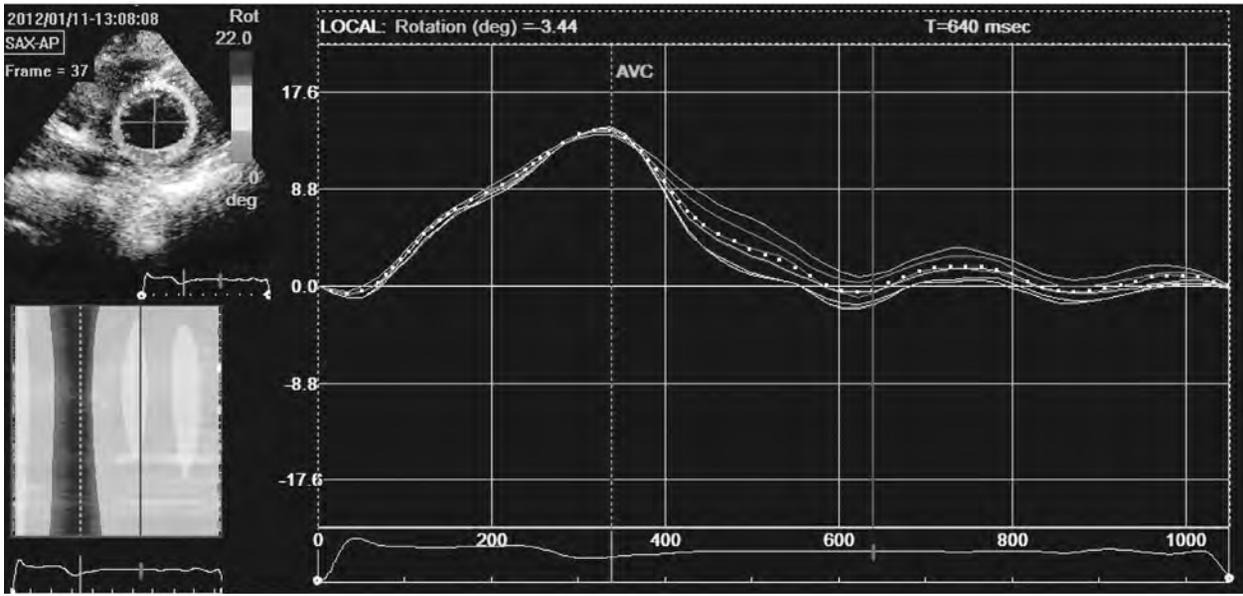


Рис. 2. Пример ротационного движения разных сегментов миокарда ЛЖ в поперечном апикальном срезе у здорового добровольца

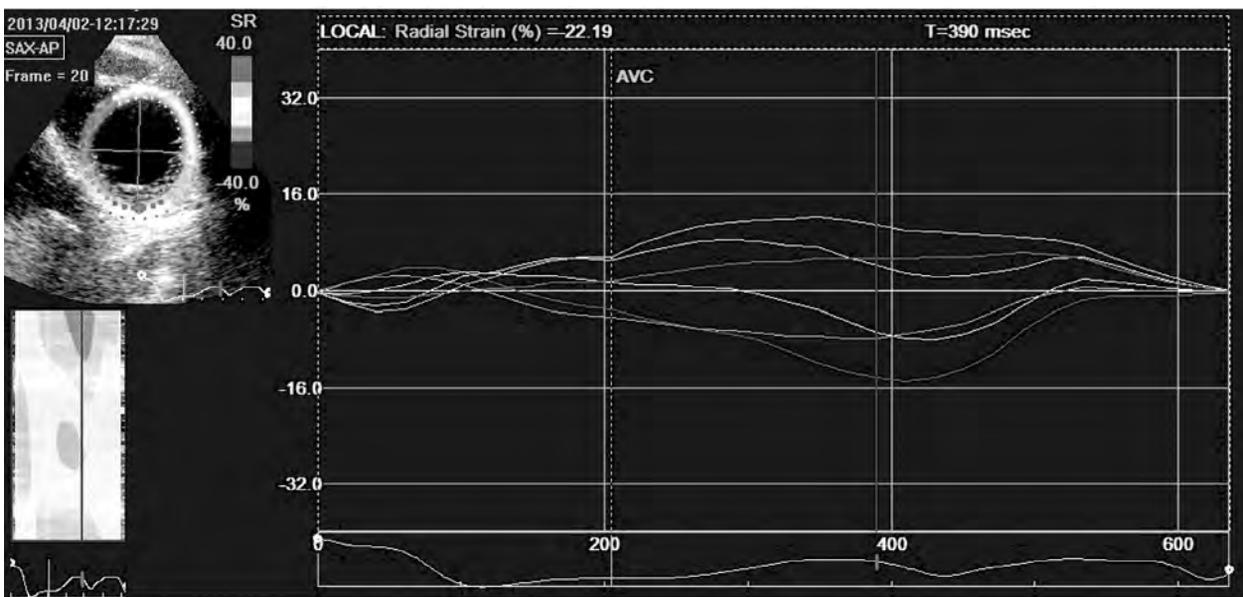


Рис. 3. Пример ротационного движения разных сегментов миокарда ЛЖ в поперечном среднем срезе у здорового добровольца

Таблица 2
Показатели максимального угла скручивания срезов миокарда ЛЖ у здоровых добровольцев (n = 35)

Срез	Максимальный угол ротации среза, °
Базальный срез	-8,3 ± 1,4
Средний срез	-0,4 ± 0,9
Апикальный срез	12,5 ± 1,1
Суммарный угол скручивания	20,8

лирование углов вращения в данном срезе, и показатели вращения сегментов среднего среза самые низкие по сравнению с базальным и верхушечным отделами (рис. 3; см. табл. 2).

В нашем предыдущем сообщении показано, что увеличение массы синцитиоподобного миокарда от верхушки к основанию, необходимое для придания ЛЖ формы конуса, сопровождается организацией КМЦ в трехмерные, разнонаправленные, соединенные между собой пласти [4]. Консолидированное сокращение этих разнонаправленных мышечных пучков обеспечивает движение мио-

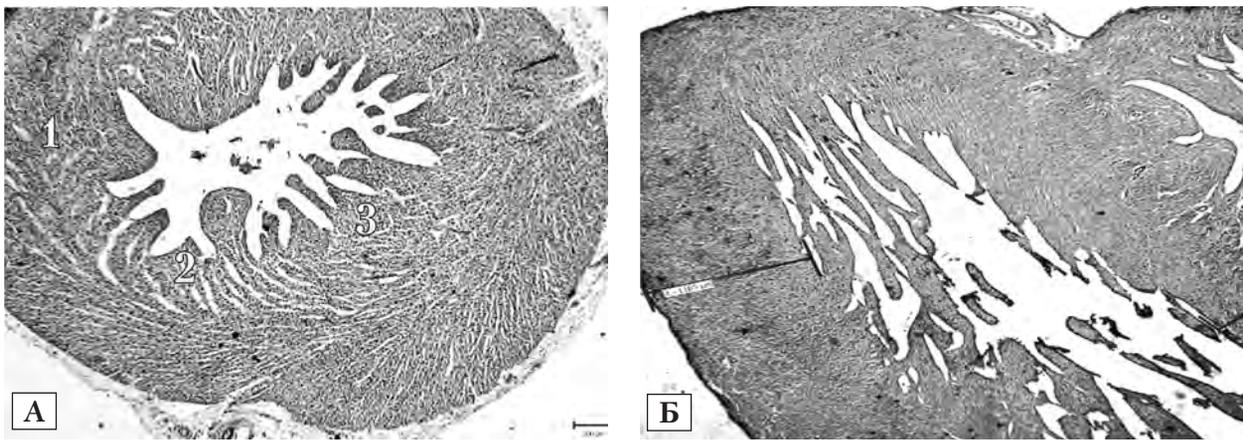


Рис. 4. Поперечний (А) и продольний (Б) срезы ЛЖ (апикальная часть) сердца плода 22-й недели гестации. Внутренняя сторона субэндокардиального слоя имеет бахромчатый вид с разделенными пучками мышечных волокон, каждый из которых направлен косо против часовой стрелки и впиляется в близлежащие трабекулы; КМЦ последних ориентированы продольно: наружный слой (1), трабекулы (2) внутренний слой (3). Окраска гематоксилином и эозином, $\times 20$

карда по сложной траектории. Однако для того, чтобы движение по этой траектории осуществлялось в необходимом направлении, на одной стороне мышечного пучка должна быть какая-то фиксирующая структура, к которой сокращающиеся КМЦ будут подтягивать соответствующие сегменты миокарда. Для скелетной мускулатуры такой точкой опоры служат кости. Вопрос о точке опоры для КМЦ в литературе широко не обсуждается, поэтому мы пытались найти на него ответ в наших исследованиях.

Апикальные сегменты ЛЖ формируются мышечными волокнами, которые, как известно, на верхушке снаружи вихреобразно заворачиваются внутрь полости [9]. При микроскопии поперечных срезов апикальной части сердец плодов в ЛЖ четко определяется достаточно широкий внутренний слой миокарда с цепочками КМЦ, косо направленными против часовой стрелки (взгляд со стороны верхушки) в сторону центра полости (рис. 4).

Со стороны эндокарда мышечные волокна внутреннего слоя ЛЖ не объединены в единый пласт, а разделены на мелкие пучки, каждый из которых под углом впиляется в трабекулу; миоциты последней ориентированы продольно. Поэтому сократившаяся трабекула служит своеобразной точкой опоры для соответствующих косо направленных миоцитов внутреннего слоя, обеспечивая ротационный компонент движения данного слоя ЛЖ.

По наружной стороне внутренний слой верхушечного отдела миокарда ЛЖ отдает косо направленные в сторону эпикарда ответвления. Так как внутренние слои верхушечного миокарда сокращаются в первую очередь, они определяют направление движения наружного слоя, который во время систолы как бы накручивается на внутренний слой, обеспечивая вместе с ним ротационный

компонент движения верхушечных сегментов, описанный выше.

На уровне сосочковых мышц большинство мышечных волокон внутреннего и наружного слоев верхушки меняет косое направление на циркулярное, формируя слой, охватывающий все свободные стенки ЛЖ и МЖП. Но при микроскопии видно, что как в сердцах плодов (рис. 5), так и взрослых лиц в этом слое миокарда на фоне циркулярных мышечных пучков имеются небольшие группы продольно ориентированных волокон. Такое строение миокарда среднего отдела ЛЖ обе-

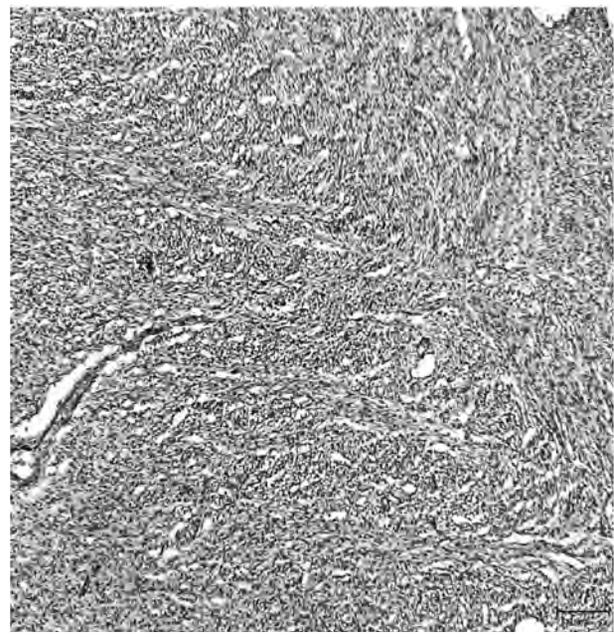


Рис. 5. Небольшие пучки продольных волокон в циркулярном слое ЛЖ сердца плода. Окраска гематоксилином и эозином, $\times 40$

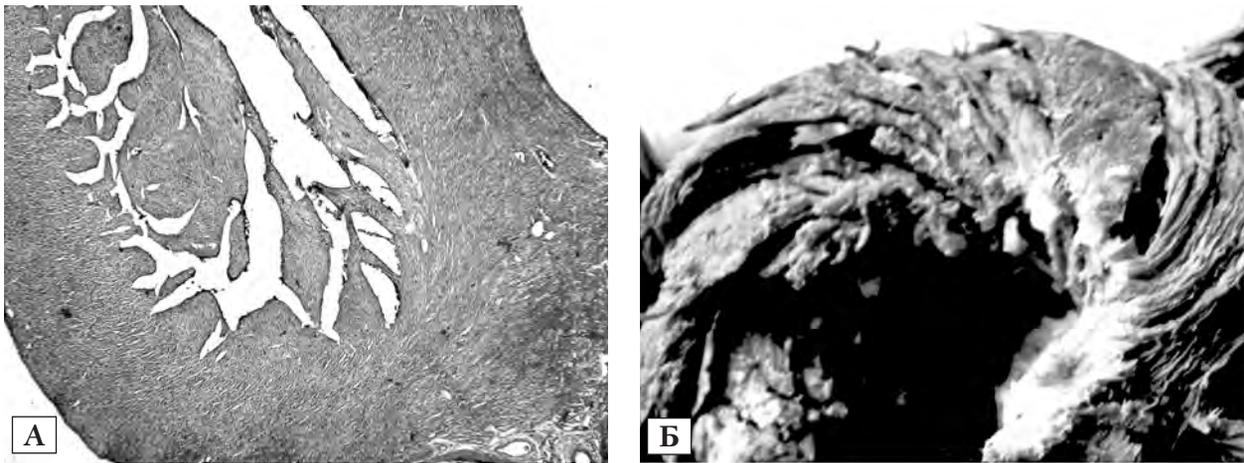


Рис. 6. Сердца плода. А – микропрепарат. Вертикальный срез переднебазального отдела ЛЖ. Окраска гематоксилином и эозином, $\times 20$. Б – макропрепарат. Поворот мышечных волокон основания сердца в сторону полости ЛЖ на уровне митрального клапана

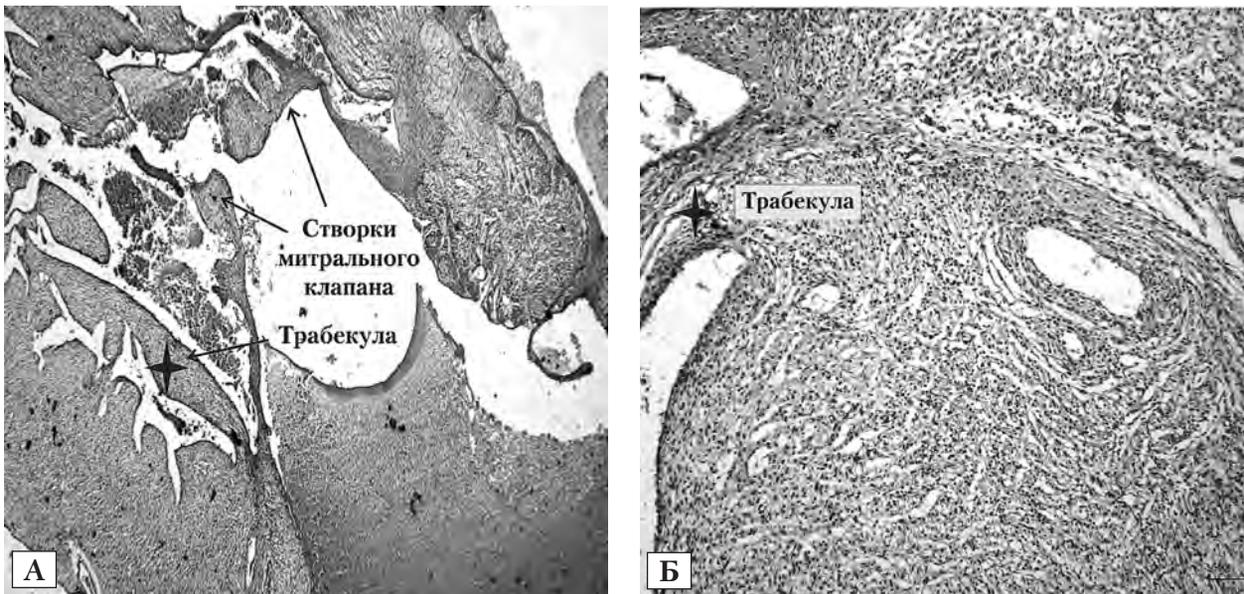


Рис. 7. Трабекула митрального клапана. Окраска гематоксилином и эозином, $\times 20$ (А), $\times 100$ (Б)

спечивает во время систолы не только констрикцию соответствующих сегментов, но и их движение в сторону верхушки.

При микроскопии в базальных сегментах установлено, что на уровне атриовентрикулярной борозды миокард всех слоев заворачивается внутрь и сливается с базальными концами продольных трабекул свободной стенки ЛЖ и МЖП. Противоположные концы этих трабекул соединены с миокардом верхушечных и средних сегментов (рис. 6А). Благодаря такой архитектонике основание ЛЖ во время систолы движется в сторону неподвижной верхушки.

На макропрепаратах также видно, что поверхностные пучки мышечных волокон свободных стенок ЛЖ, частично наслаиваясь друг на друга, в

косом направлении заворачивались внутрь желудочка (рис. 6Б). Таким образом создается миокардиальная конструкция с замкнутым контуром. При этом следует подчеркнуть, что на всем протяжении миокарда, несмотря на сложность его архитектоники, особенно в области основания сердца, а также трабекулярно-пристеночных и межтрабекулярных соединений, мышечные пучки не теряют своего синцитиоподобного строения.

Исходя из сказанного, митральный клапан при сокращении ЛЖ должен направляться в сторону верхушки, так как он своим фиброзным кольцом соединен с движущимся в этом направлении миокардом. Но, кроме того, нами обнаружены специальные трабекулы, соединяющие его фиброзное кольцо со средней частью свободных стенок ЛЖ

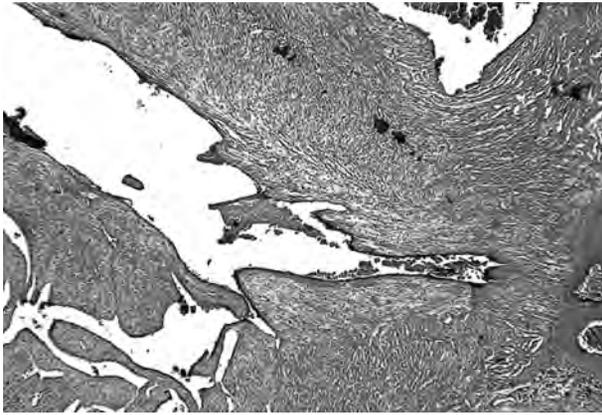


Рис. 8. Микропрепарат сердца плода. Передний отдел выходного тракта ЛЖ: устье аорты и продольные мышечные пучки, соединяющие устье аорты с базальными отделами трабекул. Окраска гематоксилином и эозином, $\times 40$

(рис. 7). Они также способствуют подтягиванию митрального клапана в направлении верхушки.

В области аорты передняя стенка ЛЖ в глубоких слоях сформирована особыми продольными мышечными пучками, идущими от фиброзного кольца клапана аорты к основаниям трабекул (рис. 8). Видимо, в момент изгнания крови из ЛЖ эти мышечные пучки тянут устье аорты навстречу потоку крови, что увеличивает эффективность работы миокарда.

МЖП формируется внутренним слоем правого желудочка (ПЖ) и внутренним и циркулярным слоями ЛЖ. Однако на поперечных срезах базальных сегментов в области задней межжелудочковой борозды дифференцируется треугольник неправильной формы, сформированный срезанными поперек мышечными клетками [4].

Расшифровка этой микроскопической находки получена при анатомическом исследовании осно-

вания сердца. В треугольнике позади корня аорты между заднемедиальными секторами фиброзных колец митрального и трехстворчатого клапанов локализовалось основание своеобразного мышечного тяжа, который вертикально погружался в сторону верхушки [4]. На уровне среднего отдела сердца этот мышечный тяж истончался, так как на уровне основания от него с обеих сторон отходили циркулярные волокна, внедряющиеся в мышечный массив задней стенки ЛЖ (рис. 9А), с переходом на переднюю.

В задней части МЖП ответвления вертикального тяжа формировали косо направленный мышечный пласт, который у фиброзного кольца АК соединялся с описанными выше вертикальными волокнами переднего сектора кольца АК. Угол, сформированный этими двумя мышечными структурами заполнял миокард циркулярного слоя среднего отдела МЖП (рис. 9Б). Таким образом, вертикальный мышечный тяж, сокращаясь, может служить точкой опоры для КМЦ основания желудочков сердца. И за счет этого МЖП вносит свою лепту в формирование сложной траектории систолического движения основания ЛЖ: ротация и смещение к верхушке в ассоциации с констрикцией среднего отдела этой камеры сердца.

При изучении ротации базального отдела ЛЖ на основе спекл-трекинг эхокардиографии был определен поворот этого отдела в систолу по часовой стрелке. При этом значения угла ротации всех сегментов в базальном отделе

ЛЖ были отрицательные, что говорит о синхронности их движения (рис. 10).

Однако при изучении вращения базального отдела ЛЖ по сегментам было выявлено, что для него характерен значительный разброс вращения в разных сегментах, и наибольшие значения определяются в нижнеперегородочном, нижнем и

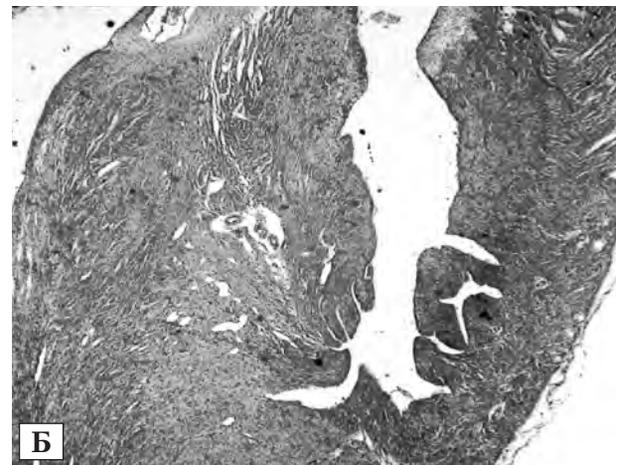
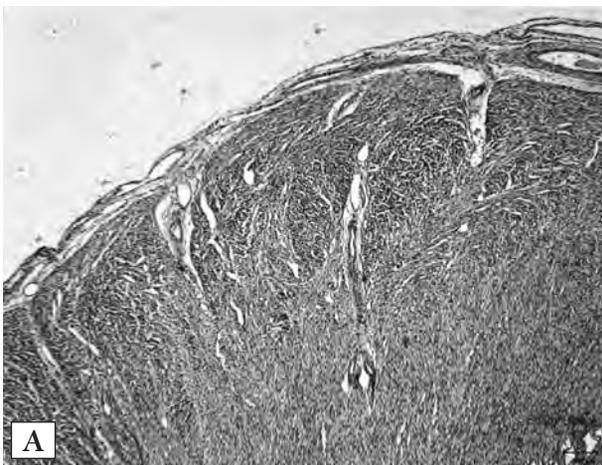


Рис. 9. Микропрепараты сердца плода. А — стенка заднебазального отдела ЛЖ сердца с пучками циркулярных волокон, пронизывающими основной массив миокарда. Окраска гематоксилином и эозином, $\times 40$.

Б — сагиттальный срез МЖП и медиальной части передней стенки ЛЖ. Окраска гематоксилином и эозином, $\times 20$

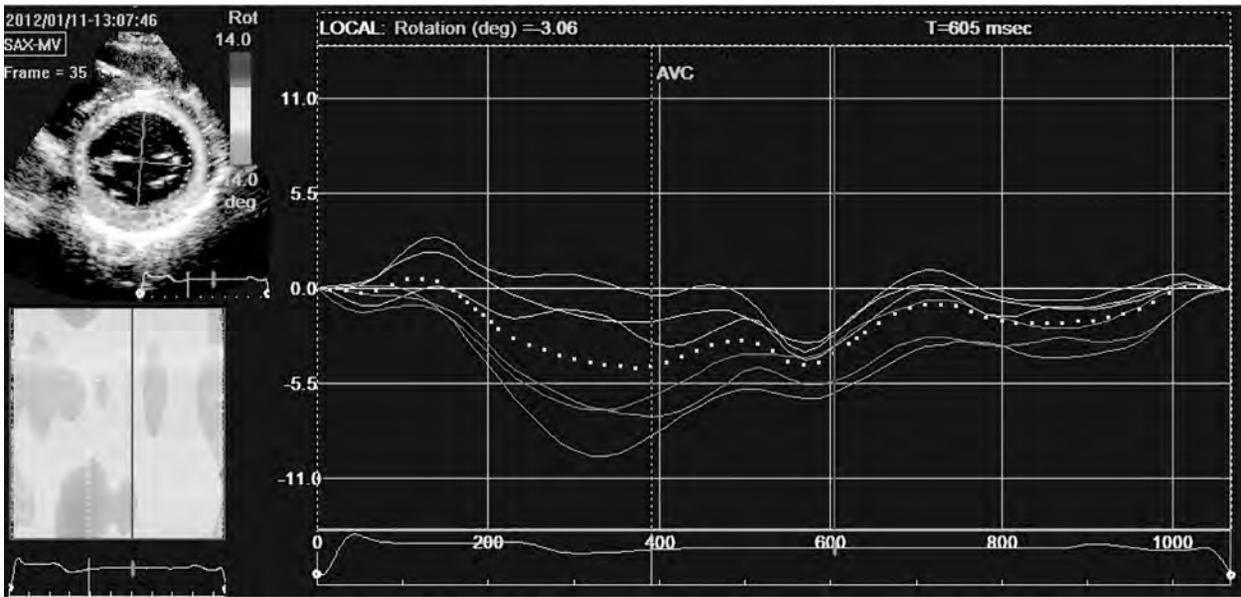


Рис. 10. Пример ротационного движения базальных сегментов миокарда ЛЖ в поперечном срезе у здорового добровольца

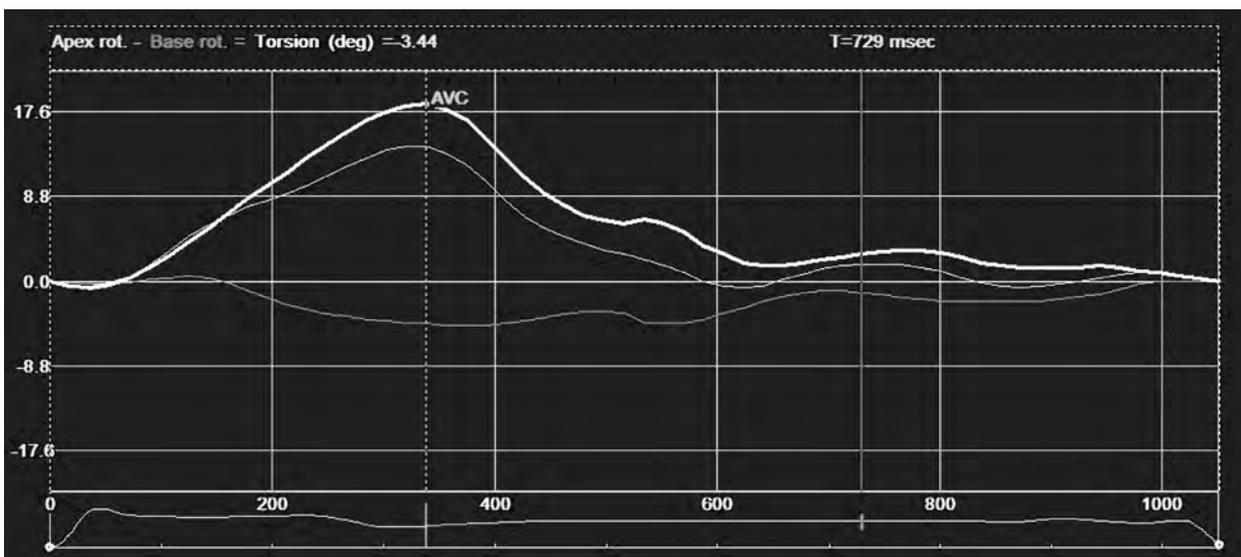


Рис. 11. Пример расчета суммарного угла скручивания миокарда ЛЖ

заднем сегментах, именно там, где проходит вертикальный мышечный тяж, о котором говорилось выше (см.рис. 10).

Таким образом, в результате ротации верхушечных сегментов против часовой стрелки, а базальных — по часовой во время систолы, создается эффект скручивания миокарда ЛЖ. Причем, как показано выше, суммарный угол скручивания ЛЖ при сложении пиковых показателей углов этих срезов составил 20,8°, что приближается к самому оптимальному углу логарифмической спирали с углом навивки 22–25°, которая признана механически и функционально наиболее эффективной и наименее энергетически затратной (рис. 11).

Выводы

Миокард является сложной, замкнутой синцитиоподобной структурой.

Траектория движения миокарда определяется: направлением кардиомиоцитов в компактном слое желудочковой стенки; трабекулами и задним вертикальным мышечным тяжем, которые служат динамическими точками опоры для компактного миокарда.

Выброс крови из левого желудочка осуществляется благодаря констрикции, продольному смещению основания к верхушке и одновременно — эффекту скручивания за счет разнонаправленной ротации верхушки и основания.

Литература

1. Гурин А. М. Структурно-функциональные особенности сердечной мышечной ткани человека // Современные наукоемкие технологии. — 2009. — № 11 (приложение). — С. 28–40.
2. Жеденов В. Н. Легкие и сердце у человека и животных. — М.: Высшая школа. — 1961. — 202 с.
3. Захарова В. П., Руденко К. В., Руденко Е. В. и др. Использование метода MSB в модификации Зербино — Лукасевич для диагностики морфофункционального состояния миокарда // Патологія. — 2010. — Т. 7, № 2. — С. 105–106.
4. Захарова В. П., Трембовецька Е. М., Савчук Т. В. и др. Новые аспекты строения миокарда желудочков сердца // Серце і судини. — 2014. — № 3. — С. 35–43.
5. Кнышов Г. В. Концепция спиральной структуры сердца: новый этап в лечении сердечно-сосудистой недостаточности // Здоров'я України. — 2005. — № 123.
6. Коваленко В. М., Несукай О. Г., Даниленко О. О. та ін. Геометрія скорочення лівого шлуночка — новий погляд на проблему через призму структурної організації міокарда // Укр. мед. часопис. — 2013. — № 2. — С. 182–187.
7. Парашин В. Б., Иткин Г. П. Биомеханика кровообращения: Учебное пособие. — М.: Изд. МГТУ им. И. Э. Баумана, 2005. — 224 с.
8. Рошевская И. М., Гуляева А. С. Архитектоника волокон рабочего миокарда желудочков сердца свиньи // Морфология. — 2005. — № 2. — С. 52–54.
9. Синельников Р. Д., Синельников Я. Р., Синельников А. Я. Атлас анатомии человека: В 4 т. — Т. 3. — «Новая волна», 2011. — 216 с.
10. Ткаченко С. Б., Берестень Н. Ф. Тканевое доплеровское исследование миокарда. — М.: Реал Тайм, 2006. — 176 с.
11. Ahmed M., Desai R., Gaddam K. et al. Relation of torsion and myocardial strains to LV ejection fraction in hypertension // J. Am. Coll. Cardiol. Img. — 2012. — 5. — P. 273–281.
12. Blessberger H., Binder T. NON-invasive imaging: Two dimensional speckle tracking echocardiography: basic principles // Heart. — 2010. — Vol. 96, N9. — P. 716–722.
13. Feigenbaum H., Mastouri R., Sawada S. A practical approach to using strain echocardiography to evaluate the left ventricle // Circ. J. — 2012. — 76. — P. 1550–1555.
14. Kirn B., Starc V. Continuous axial contraction wave in the free wall of the guinea pig left ventricle // Comput. Biol. Med. — 2007. — Vol. 37. — P. 1394–1397.
15. Torrent-Guasp F., Kocica M. J., Corno A. F. et al. New understanding of the heart structure and function // Eur. J. Cardiovasc. Surg. — 2005. — N 27 (2). — P. 181–201.

Морфологічні основи динамічних характеристик міокарда лівого шлуночка серця

О. М. Трембовецька, Г. В. Кнышов, В. П. Захарова, О. В. Руденко, М. М. Мороз

ДУ «Національний інститут серцево-судинної хірургії імені М. М. Амосова НАМН України», Київ

Мета роботи — вивчити особливості тривимірної організації міокарда лівого шлуночка (ЛШ) серця людини та зіставити морфологічні дані з результатами спекл-трекінг ехокардіографії.

Матеріали і методи. Робота побудована на аналізі результатів спекл-трекінг ехокардіографії сердець 35 здорових добровольців; макропрепарування 20 свинячих сердець, мікроскопії серійних гістологічних зрізів 14 сердець плодів 22 тижнів гестації та 3 здорових сердець дорослих людей.

Результати та обговорення. Верхівкові сегменти деформуються лише за рахунок ротації проти часової стрілки. Внутрішня поверхня «коловороту» верхівки представлена розрізненими пучками кардіоміоцитів (КМЦ), які йдуть косо проти часової стрілки та з'єднуються з поздовжньо орієнтованими трабекулами. У середній частині ЛШ більшість КМЦ розташована циркулярно, але їх масив перетинають тонкі поздовжні м'язові пучки. Рух міокарда цієї зони спрямований до центру порожнини та в бік верхівки ЛШ. Міокард базальних сегментів на рівні атріовентрикулярної борозни завертається до порожнини ЛШ і там з'єднується з базальними кінцями трабекул. Фіброзні кільця мітрального й аортального клапанів також мають з'єднання з трабекулами. Позаду гирла аорти розташований вертикальний м'язовий тяж, від якого в різні боки відходять міоцитарні волокна. Вони створюють складний циркулярний шар базальних сегментів ЛШ. Останні під час систоли демонструють максимальний поздовжній зсув і одночасно — ротацію за часовою стрілкою.

Висновки. Міокард — це складна, замкнута синцитіоподібна структура. Траєкторія руху міокарда визначається: а) напрямком КМЦ в компактному шарі шлуночкової стінки; б) трабекулами та заднім вертикальним м'язовим тяжем, що слугують динамічними точками опори для компактного міокарда. Викид крові з ЛШ реалізується завдяки констрикції, поздовжньому зсуву основи до верхівки й одночасно — ефекту скручування за рахунок різноспрямованої ротації верхівки та основи.

Ключові слова: серце, міокард, лівий шлуночок, морфологія, спекл-трекінг ехокардіографія.

Dynamic characteristics morphological background of the heart left ventricle myocardium

O. M. Trembovetska, G. V. Knyshov, V. P. Zakharova, O. V. Rudenko, M. M. Moroz

SI «M.M. Amosov National Institute of Cardiovascular Surgery of NAMS of Ukraine», Kyiv

The aim – to study peculiarities of the three-dimensional organization of left heart ventricle (LV) and to compare the results speckle tracking echocardiography with morphological data.

Materials and methods. The paper is presented with the analysis of speckle tracking echocardiograph of 35 healthy volunteers; 20 pigs hearts macro dissection; serial histological sections microscopy of 14 fetuses hearts of 22 gestation weeks and 3 hearts of healthy individuals.

Results and discussion. Apical segments deform only on the account of counterclockwise rotation, due to internal separate cardiomyocytes (CMC) beams which go obliquely counterclockwise and are bonded with longitudinally oriented trabeculae. In the LV middle part most CMCs are located circularly, but its array is crossed by thin longitudinal muscle bundles; myocardium movement is directed towards the cavity centre and LV apex. Basal myocardium segments demonstrate maximal longitudinal displacement and clockwise rotation; myocardium near the atrioventricular sulcus turns to basal ends of trabeculae. Fibrous annulus of mitral and aortic valves have connection with special trabeculae too. Behind aortic ostium there is vertical muscle bundle with lateral circular branches. They form complicated circular layer with LV segments which under systole demonstrate the maximal longitudinal displacement and simultaneously clockwise rotation.

Conclusions. The myocardium is a complex, closed, syncytium-like structure. The trajectory of myocardium movement is determined by: a) direction of CMC in compact layer of ventricular wall; b) trabeculae and the special dorsal vertical muscle bundle that serve as dynamic fulcrum for the compact myocardium. Blood ejection from LV is carried out due to constriction, longitudinal displacement of the base to the apex and because of twisting effect due to apex and basis rotation in different directions.

Key words: heart, myocardium, left ventricle, morphology, speckle tracking echocardiography.