

ОРИГІНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Новые аспекты строения
миокарда желудочков сердца

**В. П. Захарова, Е. М. Трембовецкая, Т. В. Савчук,
Б. В. Бацак, К. В. Руденко, Е. В. Руденко**

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

Цель работы — изучить особенности трехмерной организации миокарда желудочков сердца.

Материалы и методы. Работа построена на результатах макроскопического изучения свиных сердец, препарированных по методу F. Torrent-Guasp ($n = 10$), А. С. Гуляевой и И. М. Роцевской ($n = 5$) и в нашей модификации метода А. С. Гуляевой ($n = 5$). В связи с общим принципом строения миокарда у млекопитающих результаты этих макроскопических исследований экстраполировали на человека. Для изучения гистологического строения миокарда человека использовали секционный материал (серийные срезы желудочков 12 сердец плодов 22-й недели гестации и 3 сердец взрослых людей).

Результаты и обсуждение. От боковых поверхностей определенных кардиомиоцитов (КМЦ) в одну сторону отходят ответвления, дающие начало новым миокардиальным пучкам, направленным под углом к исходным. За счет этого происходит наращивание массы миокарда от верхушки к основанию сердца и вместе с тем формируются разнонаправленные мышечные пучки. Во внутреннем слое миокарда левого желудочка (ЛЖ) КМЦ ориентированы от верхушки к основанию в косом направлении против часовой стрелки. Соединенные под углом с ними КМЦ наружного слоя формируют пласт, направленный от основания к верхушке по часовой стрелке. На уровне сосочковых мышц ЛЖ большинство КМЦ внутреннего и наружного слоев меняют свое направление, создавая средний циркулярный слой миокарда. В области задней межжелудочковой борозды существует вертикальный мышечный тяж, дающий ответвления в межжелудочковую перегородку, базальные отделы желудочков и наджелудочковый гребень правого желудочка (ПЖ). Этот тяж в состоянии сокращения может служить точкой опоры для миокарда основания желудочков. Точкой опоры для миокарда верхушечного отдела ЛЖ являются сокращающиеся трабекулы, которые ориентированы вдоль продольной оси сердца. В них под углом вплетаются разрозненными группами мышечные волокна внутреннего слоя желудочка, что сообщает ротационный компонент движению ЛЖ. Трабекулы ПЖ соединяют противоположные его стенки, усиливая констрикторную функцию миокарда ПЖ. В передней стенке выходного тракта ЛЖ от устья аорты к базальным концам трабекул и в межжелудочковой перегородке идут два продольных мышечных пучка, которые при сокращении должны подтягивать корень аорты навстречу потоку крови, изгоняемому из ЛЖ.

Выводы. Миокард представляет собою трехмерную замкнутую, синцитиоподобную структуру с разнонаправленными пучками мышечных волокон, консолидированное, последовательное (от верхушки к основанию) сокращение которых обеспечивает наиболее эффективный — констриктивно-ротационный — режим работы ЛЖ.

Ключевые слова: сердце, миокард, морфология.

Сердце, в отличие от опорно-двигательного аппарата, выполняет один стереотипный, беспрерывно повторяющийся цикл движений, обеспечивающих наполнение большого и малого кру-

гов кровообращения кровью под давлением, необходимым для метаболических нужд организма. Единообразные движения обеспечиваются единым мышечным массивом, что исключает неэффективную трату энергии сокращения и расслабления на преодоление силы трения друг о друга разнонаправленных мышц, подобно скелетной мускулатуре. Кроме того, эффективность работы сердца повышается еще и за счет того, что левый желудочек (ЛЖ) изгоняет кровь в аорту не только сжатием, но и ротацией его стенок [10]. В результате этого формируется винтообразный поток,

Стаття надійшла до редакції 11 липня 2014 р.

Захарова Валентина Петрівна, д. мед. н., ст. наук. співр.
03680, м. Київ, вул. М. Амосова, 6. Тел. (44) 270-43-95
E-mail: vpszakharova@ukr.net

© В. П. Захарова, О. М. Трембовецька, Т. В. Савчук, Б. В. Бацак,
К. В. Руденко, О. В. Руденко, 2014

который, как известно из законов гидродинамики, является энергетически наименее затратным [6].

Сложная траектория движения сердца обеспечивается не менее сложно устроенным миокардом. Он состоит из клеток — кардиомиоцитов (КМЦ). Каждый КМЦ способом «конец в конец» через вставочные диски плотно соединен с предыдущим и последующим миоцитом, благодаря чему формируются очень длинные мышечные волокна (рис. 1А).

Каждое миоцитарное волокно связано с окружающими его со всех сторон другими волокнами концевыми ответвлениями, соединяющимися друг с другом также «конец в конец» (рис. 1Б). В результате этого формируется единая трехмерная синцитиоподобная структура [1].

Этот общий принцип устройства миокарда давно не вызывает ни у кого сомнения. Однако как должны быть интрамурально организованы и ориентированы миоцитарные волокна, чтобы обеспечить сложную траекторию и определенную последовательность движения разных отделов желудочков и при этом сохранить целостность мышечной массы миокарда, — этот вопрос до сих пор остается предметом изучения [4, 5]. Традиционно выделяют три слоя миокарда ЛЖ: разнонаправленные внутренний и наружный слои формируют КМЦ, расположенные под углом как к продольной, так и к поперечной осям желудочка. Считается, что КМЦ этих слоев прикрепляются к фиброзному скелету сердца. Средний, циркулярный, слой отсутствует в верхушечной части ЛЖ и дифференцируется четко только на уровне сосочковых мышц митрального клапана (МК) [9].

Наиболее популярной в настоящее время является концепция F. Torrent-Guasp, построенная на основании разработанной автором оригинальной методики препаровки сердца [12]. Согласно этой

концепции, миокард представляет собой единую мышечную ленту, «уложенную» таким образом, что образуются две петли: поверхностная базальная и более глубокая — апикальная. Последняя, в свою очередь, состоит из нисходящего и восходящего сегментов.

По мнению F. Torrent-Guasp, сокращение миокарда происходит последовательно, начиная от базальной петли и заканчивая восходящим сегментом апикальной. Однако этой точке зрения противоречит тот факт, что волокна Пуркинье от атрио-вентрикулярного узла направляются к верхушке сердца, и только там их окончания идут в миокард. И, как свидетельствуют данные электрофизиологических исследований сердца, именно с верхушки начинается возбуждение миокарда [11]. Кроме того, при раскручивании миокарда в ленту по методу F. Torrent-Guasp необходимо трижды надсекать мышечный массив от основания к верхушке. Более того, практически на всех этапах препарирования исследователь сталкивается с необходимостью разъединять по плоскости единые мышечные пучки и разрывать волокна, пересекающие плоскости расслоения. Это подтверждает представления гистологов о миокарде как единой трехмерной синцитиоподобной структуре и доказывает необходимость дальнейших исследований строения миокарда, так как 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 желудочков сердца.

Материалы и методы

Исследования проводили на макро- и микроскопическом уровнях. Общие закономерности устрой-

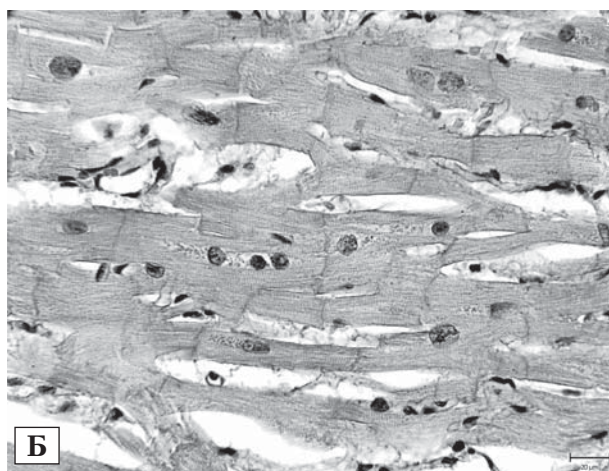
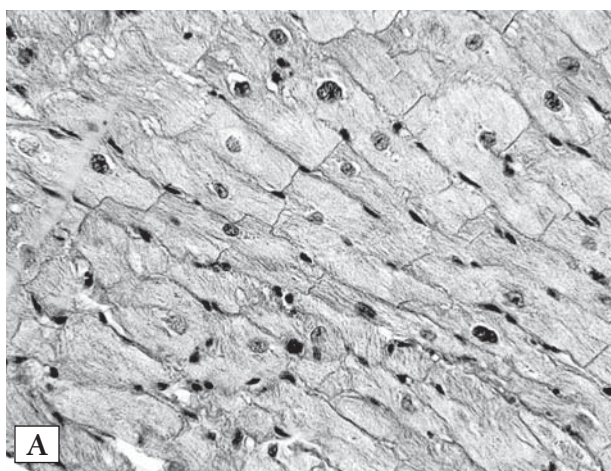


Рис. 1. Гистологическое строение миокарда ЛЖ. Окраска MSB, $\times 400$. Формирование мышечных волокон путем соединения КМЦ «конец в конец» (А); на фоне небольшого интерстициального отека видны концевые ответвления, соединяющие между собой соседние мышечные пучки (Б)

ства желудочкового миокарда оценивали с помощью различных методик анатомического препарирования. В частности, 10 свиных сердец были обработаны по методу, предложенному F. Torrent-Guasp [12]. Кроме того, 5 свиных сердец подвергались послойному препарированию миокарда, начиная от основания по направлению к верхушке по методу А. С. Гуляевой и И. М. Роцевской [7], и 5 сердец — по этому методу в нашей модификации: от верхушки к основанию. Доказано, что 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 12 сердец плодов 22-й недели гестации. Выбор материала был 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. Срезы окрашивали гематоксилином и эозином. При микроскопии каждый гистологический препарат покадрово фотографировали в программе Quick Photo при увеличении микроскопа 20. Затем в программе Photoshop воссоздавали вид целого среза [8] и на нем изучали направление КМЦ миокарда желудочков на разных уровнях. Кроме того, на секционном материале

морфологическому исследованию были подвергнуты три сердца взрослых людей. В этих сердцах на базальном, среднем и апикальном уровнях вырезали кусочки для гистологического исследования передней, боковой и задней стенок ЛЖ, а также межжелудочковой перегородки (МЖП). Гистологические срезы окрашивали гематоксилином и эозином, пикрофуксином по Ван Гизону, а также с использованием метода MSB в нашей модификации, позволяющей оценивать сократительную активность КМЦ [3].

Результаты и обсуждение

При всех способах препарирования сердец после отделения предсердий от желудочков видно, что параллельно ориентированные мышечные волокна поверхностного слоя желудочкового миокарда от основания сердца направляются косо вниз по часовой стрелке, формируя конус легочной артерии и окутывая всю вентрикулярную поверхность сердца (рис. 2А).

При пересечении верхушечной трети задней межжелудочковой борозды (МЖБ) часть из этих волокон дают начало мышцам глубокого слоя правого желудочка (ПЖ), а другие направляются вперед к верхушке ЛЖ, где «водоворотом» закручиваются внутрь (рис. 2Б), принимая участие в формировании глубоких слоев верхушечного миокарда ЛЖ. Наружный слой верхушки ЛЖ в задних отделах имеет связь с верхушечными трабекулами ПЖ.

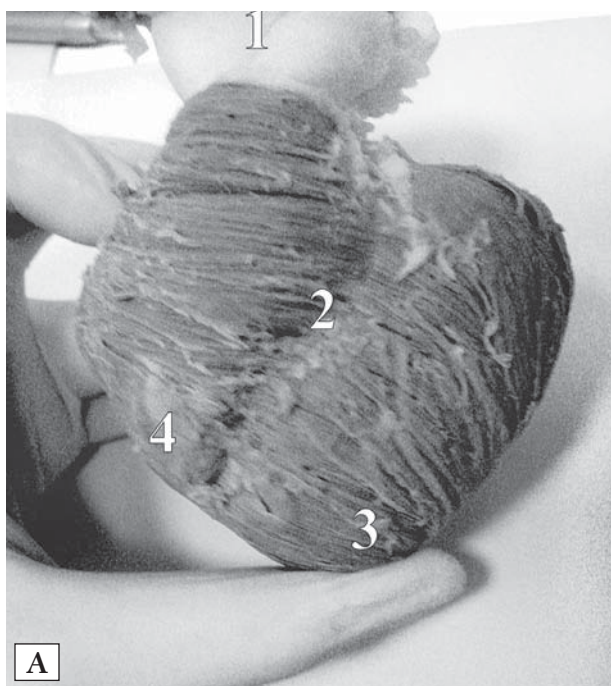


Рис. 2. Макропрепарат. Поверхностный слой миокарда. А — ствол легочной артерии (1), передняя МЖБ (2), ЛЖ (3), ПЖ (4). Б — верхушка ЛЖ: воронкообразное погружение поверхностного слоя миокарда ЛЖ в полость ЛЖ

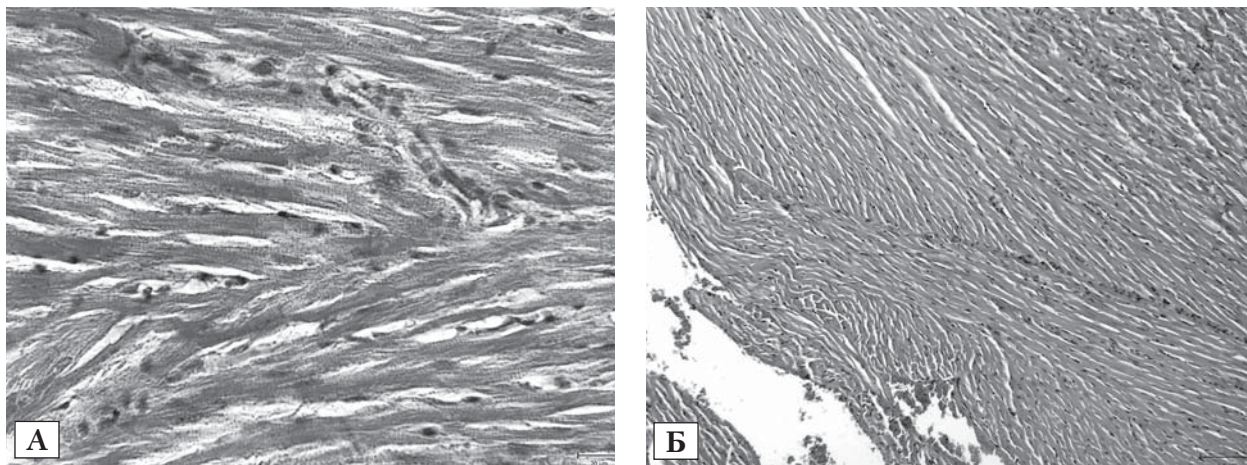


Рис. 3. Микропрепараты. Формирование новых пучков мышечных волокон, идущих под углом к «материнскому» за счет боковых ответвлений от КМЦ. Окраска гематоксилином и эозином. $\times 400$ (А), $\times 100$ (Б)

В дальнейшем наращивание длины мышечных волокон способом «конец в конец» обеспечивает структуру тех сегментов миокарда, которые имеют постоянные размеры мышечного пучка с параллельной ориентацией КМЦ. Но по мере продвижения от верхушки сердца к его основанию для придания ЛЖ сложной конусоподобной формы линейные пучки КМЦ должны расширяться и менять направление. Это происходит за счет того, что в определенных участках от некоторых КМЦ, расположенных в одном пучке на разной глубине, отделяются не только концевые, но и боковые, направленные в одну сторону ответвления (рис. 3А).

Каждая из этих ветвей дает начало новой миоцитарной цепочке и новому мышечному пучку, направленному под углом к исходному материнскому (рис. 3Б).

В трехмерных материнских мышечных пластах зоны бокового ветвления смещены друг относительно друга таким образом, что боковые цепочки КМЦ формируют массивы миокарда, которые, будучи отделены от исходной популяции КМЦ по методу F. Torrent-Guasp, составляют самостоятельный сегмент миокардиальной мышечной ленты. Таким образом, увеличение массы миокарда от верхушки к основанию, необходимое для придания желудочку формы конуса, сопровождается организацией КМЦ в разнонаправленные, соединенные между собой пласты. Консолидированное сокращение этих разнонаправленных мышечных пучков обеспечивает движение миокарда по сложной траектории, включающей констрикторный и ротационный компоненты. 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 доступной литературе не обсуждался, поэтому мы пытались найти на него ответ в наших исследованиях.

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).

Мы обратили внимание на важную особенность этого слоя, которая оставалась незамеченной другими авторами. Со стороны эндокарда мышечные волокна внутреннего слоя ЛЖ не объединены в

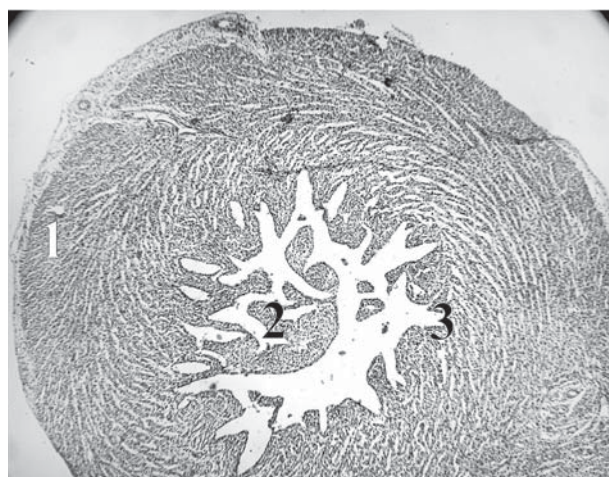


Рис. 4. Поперечный срез ЛЖ (апикальная часть) сердца плода 22-й недели гестации. Внутренняя сторона субэндокардиального слоя имеет бахромчатый вид с разделенными пучками мышечных волокон, каждый из которых направлен косо против часовой стрелки и вплетается в близлежащие трабекулы, КМЦ которых ориентированы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

єдиний пласт, а розділені на мелкі пучки, кождий з яких під кутом вплетається в трабекулу, міоцити якої завжди орієнтовані продольно. Поэтому сократившаяся трабекула служит соответствующим косо направленным миоцитам внутреннего слоя своеобразной точкой опоры, обеспечивая ротационный компонент движения данного слоя ЛЖ.

Примечательно, что в отличие от ЛЖ, где трабекулы располагаются практически параллельно его стенкам, в ПЖ, миокард которого осуществляет только констрикторную функцию (без ротационного компонента), трабекулярный рельеф способствует осуществлению именно процесса сжатия, благодаря наджелудочковому гребню, модераторному тяжу и другим трабекулам, идущим поперек желудочка и, таким образом, притягивающим свободные стенки желудочка друг к другу и к МЖП (рис. 5).

По наружной стороне внутренний слой верхушечного отдела миокарда ЛЖ отдает косо направленные в сторону эпикарда ответвления, формирующие наружный слой. В целом в верхушечной трети рисунок свободной стенки ЛЖ на поперечных срезах напоминает пальмовую ветвь (см. рис. 4).

В базальных сегментах впереди от МК миокард наружного слоя заворачивается внутрь, переходит к пучкам глубокого слоя, которые сливаются с базальными концами трабекул (рис. 6).

Однако в области аорты передняя стенка ЛЖ в глубоких слоях сформирована особыми продольными мышечными пучками, идущими от фиброзного кольца клапана аорты к основаниям трабекул (рис. 7).

В средней части свободных стенок ЛЖ большинство глубоко расположенных мышечных волокон внутреннего и наружного слоев приобретают циркулярную ориентацию, образуя средний миокардиальный слой.

МЖП формируется внутренним слоем ПЖ, а также внутренним и циркулярным слоями ЛЖ. Однако на поперечных срезах базальных сегментов в области задней МЖБ под тонким, косо расположенным поверхностным слоем КМЦ дифференцируется в треугольник неправильной формы, сформированный срезанными поперек мышечными клетками, расположенными в более рыхлом, чем остальные КМЦ, интерстициальном матриксе (рис. 8).

Расшифровка этой микроскопической находки получена при анатомическом исследовании основания 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 (рис. 9). На уровне среднего отдела сердца этот мышечный тяж истончается,

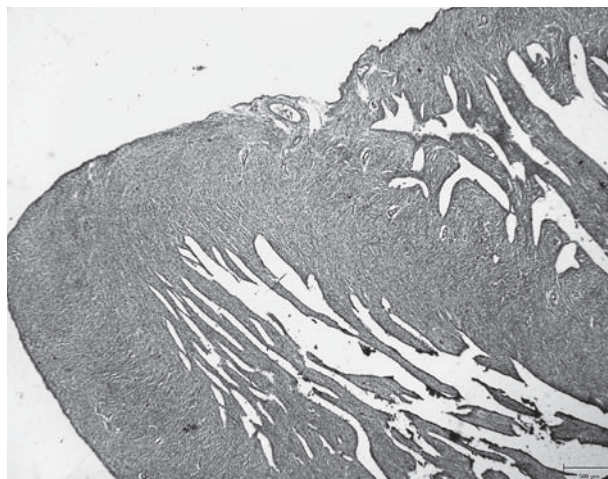


Рис. 5. Микропрепарат: продольный срез верхушечных отделов ЛЖ и ПЖ. Окраска гематоксилином и эозином, × 20

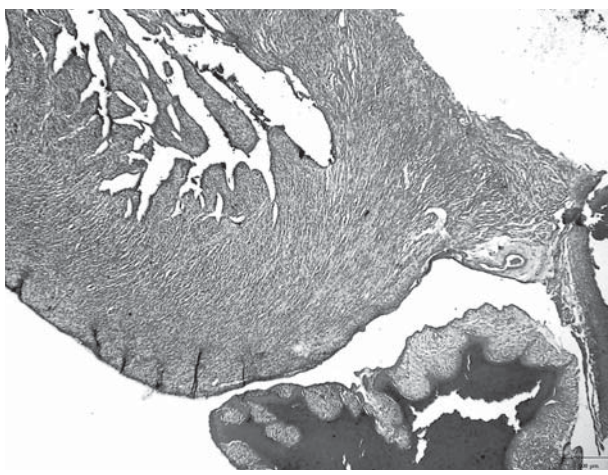


Рис. 6. Микропрепарат. Вертикальный срез передне-базального отдела ЛЖ. Окраска гематоксилином и эозином, × 20

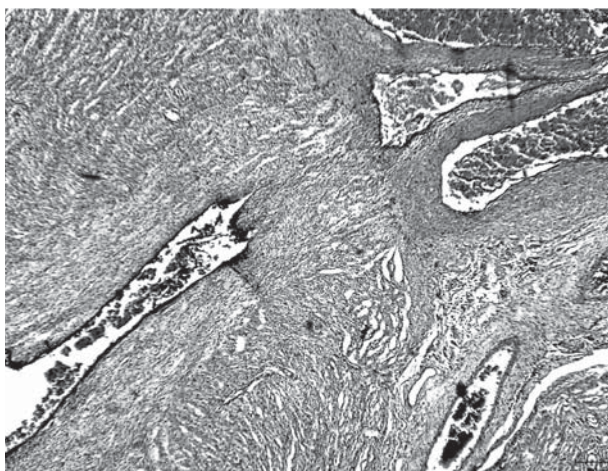


Рис. 7. Микропрепарат. Передний отдел выходного тракта ЛЖ: устье аорты и продольные мышечные пучки, соединяющие устье аорты с базальными отделами трабекул. Окраска гематоксилином и эозином, × 40

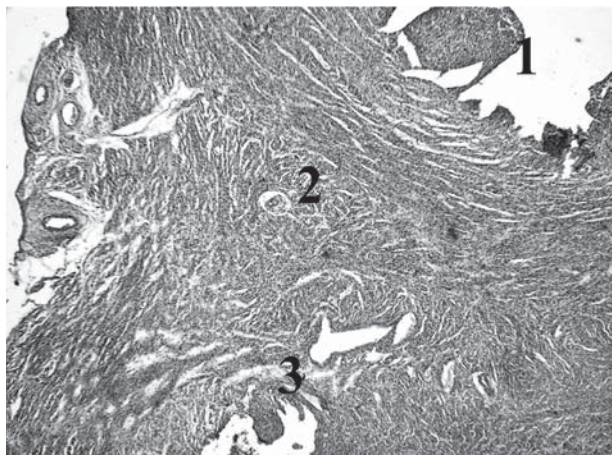


Рис. 8. Поперечний срез вертикального мышечного тяжа базального отдела сердца плода: ЛЖ (1), вертикальный мышечный тяж (2), ПЖ (3). Окраска гематоксилином и эозином, $\times 40$

так как от его наружной поверхности в основании сердца к задним стенкам желудочков, в МЖП и наджелудочковый гребень ПЖ под углом уходили достаточно крупные мышечные пучки, встраиваясь в структуры основания сердца, которые, согласно концепции F. Torrent-Guasp, являются частями апикальной петли миокарда.

И если не стремиться непременно растянуть миокард в ленту по F. Torrent-Guasp, то 180-градусный ее перегиб, декларируемый автором, окажется именно этим вертикальным мышечным тяжем, который как бы подвешивает желудочки

сердца на фиброзном скелетоне. Кроме того, данный мышечный тяж, сокращаясь в вертикальном направлении, может служить точкой опоры для миокарда основания желудочков сердца. В частности, волокна, отходящие от вертикального мышечного тяжа спереди слева, уходят в косом направлении к внутреннему слою задней стенки основания ЛЖ, встраиваясь по часовой стрелке в базальные отделы трабекул.

В области передних, латеральных и задних сегментов МК поверхностные пучки мышечных волокон свободных стенок желудочков, частично наслаиваясь друг на друга, в косом направлении заворачивались внутрь желудочков (рис. 10).

При микроскопии видно, что на изгибе этих миоцитарных пучков от них отходят тонкие тяжи соединительнотканых волокон интерстиция миокарда. Именно эти коллагеновые волокна соединяются с фиброзным скелетоном сердца (рис. 11).

Что касается непосредственно мышечных волокон основания сердца, то они после поворота в сторону полостей желудочков соединяются с миоцитарными пучками, отходящими от вертикального мышечного тяжа, завершая таким образом формирование замкнутого контура единого, сложно организованного массива миокарда желудочков сердца.

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.



Рис. 9. Макропрепарат. Вид задне-базальных вертикальных мышечных тяжей свиных сердец, препарированных от верхушки к основанию

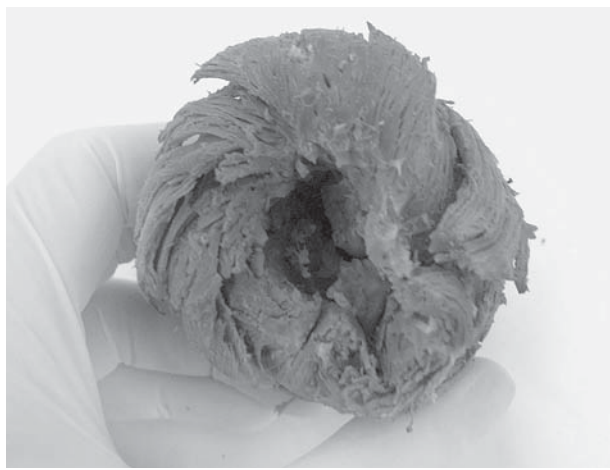


Рис. 10. Макропрепарат. Поворот мышечных волокон основания сердца в сторону полости ЛЖ на уровне атриовентрикулярного отверстия МК

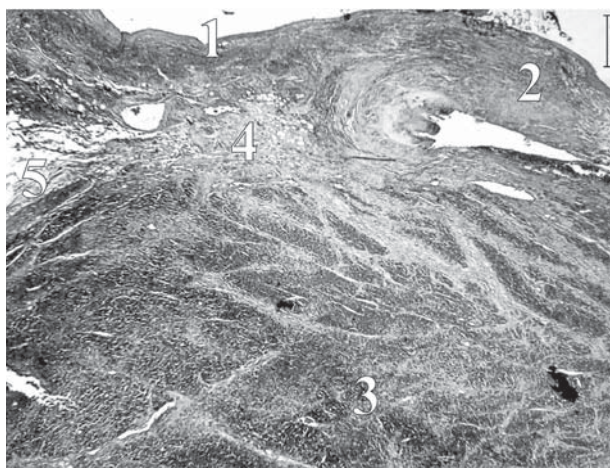


Рис. 11. Микропрепарат. Поперечный срез через левое предсердие и миокард ЛЖ в зоне атриовентрикулярного отверстия МК: левое предсердие (1), створка МК (2), основание миокарда ЛЖ (3), фиброзное кольцо (4), атриовентрикулярная борозда (5). Окраска MSB, $\times 20$

Выводы

Миокард представляет собою замкнутую, сложную, трехмерную синцитиоподобную структуру, которая играет формообразующую роль для сердца, а также «единолично» выполняет основную — сократительную — функцию своего органа (в отличие от скелетной мускулатуры, которая является

лишь частью опорно-двигательного аппарата). Наращивание массы миокарда от верхушки к основанию и вместе с тем формирование разнонаправленных пучков мышечных волокон происходит за счет того, что от определенных кардиомиоцитов отходят в одну сторону боковые веточки, дающие начало новым миокардиальным пучкам, направленным под углом к исходным. Во внутреннем слое миокарда левого желудочка кардиомиоциты ориентированы от верхушки к основанию в косом направлении против часовой стрелки; соединенные с ними под углом кардиомиоциты наружного слоя направлены по часовой стрелке. На уровне сосочковых мышц левого желудочка большинство кардиомиоцитов внутреннего и наружного слоев меняют свое направление, создавая средний циркулярный слой миокарда. Субэндокардиальные кардиомиоциты внутреннего слоя миокарда левого желудочка не создают единого пласта, они разрозненными, косо направленными группами вплетаются в структуру трабекул, мышечные волокна которых ориентированы продольно. Таким образом, при сокращении трабекулы служат своеобразной опорой для поворота внутреннего слоя миокарда против часовой стрелки, а сокращающийся внутренний слой в свою очередь создает необходимую плоскость фиксации для поворота наружного слоя. Именно этот механизм может обеспечивать ротационный компонент сокращению верхушечных сегментов левого желудочка. В основании сердца на уровне задней межжелудочковой борозды существует вертикальный мышечный тяж, от которого в разные стороны отходят пучки кардиомиоцитов, вплетающиеся в структуры базальных отделов обоих желудочков и межжелудочковой перегородки. В базальных сегментах левого желудочка, особенно на задней стенке, мышечные волокна как внутреннего, так и наружного слоев направлены от вертикального мышечного тяжа в сторону верхушки по часовой стрелке. Продольные мышечные пучки передней стенки выходного тракта левого желудочка, соединяющие устья аорты с базальными концами трабекул, в момент систолы, видимо, подтягивают корень аорты навстречу изгоняемому из желудочка потоку крови. Более подробно связь описанных особенностей строения сердца с его функцией изучена с помощью вектор-эхокардиографических исследований. Результаты будут опубликованы.

Литература

1. Турин А. М. Структурно-функциональные особенности сердечной мышечной ткани человека // Современные наукоемкие технологии. — 2009. — № 11 (прил.). — 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 // Патология. — 2010. — Т. 7, № 2. — С. 105–106.
4. Кнышов Г. В. Концепция спиральной структуры сердца: новый этап в лечении сердечно-сосудистой недостаточности // Здоров'я України. — 2005. — № 123.
5. 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.
6. Парашин В. Б., Иткин Г. П. Биомеханика кровообращения: Учеб. пособие. — М.: Изд. МГТУ им. И. Э. Баумана, 2005. — 224 с.
7. Роцевская И. М., Гуляева А. С. Архитектоника волокон рабочего миокарда желудочков сердца свиньи // Морфология. — 2005. — № 2. — С. 52–54.
8. Савчук Т. В., Захарова В. П., Лещенко І. В., Бацак Б. В. Пат. 67298 Україна, МПК А 61 В 1/04. Спосіб відтворення цілісного зображення мікроструктури міокарда / Заявник ДУ «НІССХ ім. М. М. Амосова НАМНУ»; заявл. 21.07.2011, опубл. 10.02.2012. Бюл. № 3, 2012.
9. Синельников Р. Д., Синельников Я. Р., Синельников А. Я. Атлас анатомии человека: В 4 т. — Т. 3. — М.: Новая волна, 2011. — 216 с.
10. Ткаченко С. Б., Берестень Н. Ф. Тканевое доплеровское исследование миокарда. — М.: Реал Тайм, 2006. — 176 с.
11. 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.
12. 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.

Нові аспекти будови міокарда шлуночків серця

В. П. Захарова, О. М. Трёмбовецька, Т. В. Савчук, Б. В. Бацак, К. В. Руденко, О. В. Руденко

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

Мета роботи — вивчити особливості тривимірної організації міокарда шлуночків серця.

Матеріали і методи. Робота побудована на результатах макроскопічного вивчення свинячих сердець, препаратів за методом F. Torrent-Guasp (n = 10), А. С. Гуляєвої та І. М. Роцевської (n = 5) і за нашою модифікацією методу А. С. Гуляєвої (n = 5). У зв'язку із загальним принципом будови міокарда у ссавців одержані результати макроскопічних досліджень екстраполювали на людину. Для вивчення гістологічної будови міокарда людини використовували секційний матеріал (серійні зрізи шлуночків 12 сердець плодів 22-го тижня гестації та 3 сердець дорослих людей).

Результати та обговорення. Від бічних поверхонь певних кардіоміоцитів (КМЦ) в один бік відходять відгалуження, що дають початок новим міокардіальним пучкам, спрямованим під кутом до вихідного. За рахунок цього відбувається нарощування маси міокарда від верхівки до основи серця й водночас формуються різноспрямовані м'язові пучки. У внутрішньому шарі міокарда лівого шлуночка (ЛШ) КМЦ орієнтовані від верхівки до основи в косому напрямку проти годинникової стрілки. Сполучені під кутом із ними КМЦ зовнішнього шару формують пласт, спрямований від основи до верхівки за годинниковою стрілкою. На рівні сосочкових м'язів ЛШ більшість КМЦ внутрішнього і зовнішнього шарів змінюють свій напрямок, створюючи середній циркулярний шар міокарда. У ділянці задньої міжшлуночкової борозни існує вертикальний м'язовий тяж, що дає відгалуження в міжшлуночкову перегородку, базальні відділи шлуночків та надшлуночковий гребінь правого шлуночка (ПШ). Цей тяж у стані скорочення може слугувати точкою опори для міокарда основи шлуночків. Крім того, точкою опори для міокарда ЛШ є трабекули, які скорочуються й орієнтовані вздовж повздовжньої осі серця. У них під кутом уплітаються розрізненими групами м'язові волокна внутрішнього шару шлуночка, що передає ротаційний компонент руху ЛШ. Трабекули ПШ з'єднують протилежні його стінки, посилюючи констрикторну функцію стінок ПШ. У передній стінці вихідного тракту ЛШ від вічка аорти до базальних кінців аорти і в міжшлуночкову перегородку йдуть два повздовжні м'язові пучки, які при скороченні повинні підтягувати корінь аорти назустріч плинку крові, що виганяється із ЛШ.

Висновки. Міокард становить собою тривимірну замкнуту, синцитіоподібну структуру з різноспрямованими пучками м'язових волокон, консолідоване, послідовне (від верхівки до основи) скорочення яких забезпечує найбільш ефективний — констриктивно-ротаційний — режим роботи ЛШ.

Ключові слова: серце, міокард, морфологія.

New aspects of the heart ventricular myocardium structure

V. P. Zakharova, E. M. Trembovetskaya, T. V. Savchuk, B. V. Batsak, K. V. Rudenko, O. V. Rudenko

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

Purpose — to study peculiarities of three-dimensional organization of the heart ventricular myocardium.

Materials and methods. The work is based on the results of the macroscopic study of pig hearts, which were prepared by methods of: F. Torrent-Guasp (n = 10), A. S. Gulyayeva, I. M. Roshevskaya (n = 5) and our modification of A. S. Gulyayeva method (n = 5). In connection with the general principle of the structure of myocardium in all mammals, macroscopic research results were extrapolated to human beings. The serial sections of the ventricles of 12 fetal hearts of 22 week gestation and 3 adult hearts (sectional material) were used to study the histological structure of the human myocardium.

Results and discussion. Certain branches deviate from the side surfaces of cardiomyocytes to one side, giving rise to new myocardial bundles, directed at an angle to the initial bundles. This process leads to build-up of myocardial mass from the apex to the base of the heart and at the same time — to forming muscle bundles of different directions. The cardiomyocytes of the inner ventricular myocardial layer are directed from the apex to the base of the heart in an oblique direction counterclockwise. The cardiomyocytes of the outer layer are connected at an angle to cardiomyocytes of the inner layer and form stratum which is directed from the base of the heart to its apex clockwise. At the level of left ventricular papillary muscles, the majority of cardiomyocytes of inner and outer layers change their direction, creating a middle circular layer of the myocardium. There is a vertical muscle bundle in the area of posterior interventricular sulcus, giving branches to the interventricular septum, and to the basal parts of both ventricles and right ventricular crista supraventricularis. This bundle in the state of contraction may serve as the fulcrum for myocardium of the basal of the heart. In addition, contracted trabecules, which are oriented along the longitudinal axis of the heart, serve as fulcrum for left ventricle myocardium. The muscle fibers of the inner layer of the left ventricle intertwine at an angle to these trabecules by separated groups, which provides rotary component to the movement of left ventricle. Right ventricular trabecules connect opposite walls of this heart chamber, reinforcing the constricting function of right ventricle walls. There are two longitudinal muscle bundles in the anterior wall of the left ventricular outflow tract. They go from aorta ostium to the basal ends of the aorta and to the interventricular septum; during systole they have to pull up the aortic root toward the blood flow ejected from the left ventricle.

Conclusions. Myocardium is a closed, three-dimensional syntcytium-like structure with multidirectional bundles of muscle fibers whose consolidative, consecutive (from apex to base) contraction provides the most effective constrictive-rotary mode of left ventricle.

Key words: heart, myocardium, morphology.