**Применение функциональной анатомии миокарда в практической эхокардиографии**

Биографическая справка.

Бендер А.М. родился в 1948 г., г. Иркутск. В 1974 г окончил Иркутский Государственный медицинский институт (ИГМИ). С этого времени, по 1991 год работал терапевтом, врачом функциональной диагностики, реаниматологом г. Ангарск.

С 1991 г по настоящее время врач ультразвуковой диагностики (УЗД). Непрерывный стаж по специальности 26 лет.

Использование данных статьи в печати или в публичных дискуссиях обязательно со ссылкой на источник. Все авторские права защищены.

**Функциональная анатомия миокарда**

По теории миоархитектоники сердца, предложенной T.Guasp (1972) «…Мышечные пучки располагаются улиткообразно. Они начинаются от аорты и прикрепляются сзади к лёгочному стволу. Сердце как бы подвешено к аорте и лёгочному стволу и при систоле укорачивается на 15% по всем осям. Происходит полукруговое движение выброса, то есть такое движение, при котором, как бы выжимается полотенце. При этом в левом желудочке происходит кругообразное движение против часовой стрелки, а в правом желудочке - по часовой стрелке» [цит по.1. C. 128-129].

«Миокард желудочков состоит из пластов мышечных пучков, ориентированных в трёх направлениях: субэпикардиальные в продольном, средние в циркулярном, субэндокардиальные в продольном. Субэпикардиальные и субэндокардиальные пучки,

располагающиеся продольно и взаимно перпендикулярно, являются общими для обоих желудочков и непосредственно переходят в области верхушки сердца друг в друга. Круговые мышечные пучки идут изолированно в правом и левом желудочках и частично огибают их в целом. Субэпикардиальные продольные пучки миокарда желудочков начинаются от фиброзных колец сердца, и распространяются спиралеобразно к верхушке сердца, образуя завиток(vortex cordis). На верхушке субэпикардиальные пучки уходят в глубину и продолжаются наверх уже в виде субэндокардиальных продольных мышечных пучков, прикрепляющихся снова к фиброзной основе сердца. Субэндокардиальные продольные пучки миокарда желудочков образуют мясистые трабекулы и сосочковые мышцы. Средние циркулярные мышечные пучки тесно связаны с наружными и внутренними и по существу являются их продолжением. Поверхностные циркулярные пучки охватывают оба желудочка, глубокие огибают каждый желудочек в отдельности» [1. С. 132-133].

«Длина трабекул от 0,9- 2,2см до 5,0см. Толщина от 0,3 до 1,2 см. Ширина межтрабекулярных пространств 1-4мм. Различают мелкопетлистую сеть трабекул 0,3-04см., среднепетлистую 0,5-0,6см., крупнопетлистую 0,8-1,2см. Трабекулы верхней трети стенки желудочков, располагаются перпендикулярно атриовентрикулярным отверстиям, а далее направляются косо вниз» [1.С.49,73].

По A.Puff(1960), трабекулярное строение внутренней стенки желудочков, обеспечивает заполнение полостей желудочков и увеличивает их поверхность [цит по.2. C. 57].

По В.Н Фатенкову [2. C. 57] «Природа не могла пойти по пути создания образований только для заполнения полости желудочков и увеличения их поверхности. Действительно, поверхность миокарда в области пути оттока желудочков гладкая, не имеющая трабекул. Все они в основном расположены на передней и боковой стенках желудочков.

Физиологическое значение трабекул следующее. В момент сокращения циркулярных мышц в фазу изоволюмического повышения внутрижелудочкого давления, происходит сближение трабекул по окружности, без изменения их общей поверхности. Одновременно трабекулы способствуют удлинению внутренней прямой мышцы»[2.С. 57].

Фактически доказано, что трабекулы локализуются на путях притока (передняя, латеральная и задняя стенки желудочков) и отсутствуют в путях оттока. Они являются мышечными отростками субэндокардиальных пучков миокарда и сокращаются в систолу так же, как и другие пучки миокарда. У основания желудочка, они идут почти параллельно стенке, а чем ниже, тем больше угол между ними и стенкой.

По моему мнению удивительно, что функциональное значение трабекул и A.Puff , и В.Н Фатенковым рассматривается именно в связи с диастолой. Если мы понимаем, что мясистые трабекулы являются своеобразными мышечными отростками субэндокардиального слоя миокарда, то их значение, как и любой другой мышцы, логично искать в фазе их сокращения, т.е. в систоле.

Обзоры литературы по анотомии и функциям трабекул сердца с 90х годов по настоящее время [4,5,6,7] показывают, что систолическая функция трабекул по значимости выходит на первое место, по сравнению с диастолической их функцией.

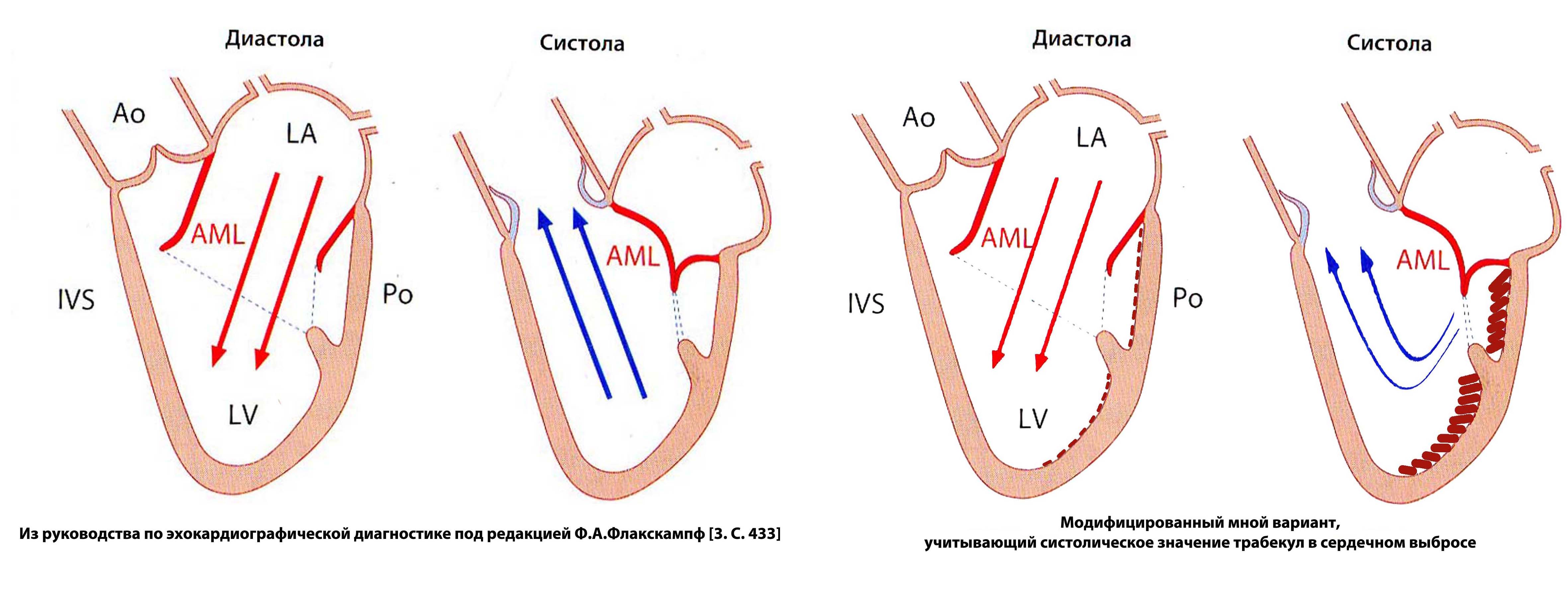
Большое впечатление производит цикл работ коллектива авторов института имени Бакулева, который связан с разработкой математической модели вихревого смерчеобразного движения крови в систолу, и выброса её из левого желудочка в аорту.

Разработка этой модели основывается на законах гидродинамики и математически обосновывается. При этом систолической роли трабекул придаётся большое (если не основное) значение.[7,8]

Моя гипотеза\* о функциональном значении трабекул:

1. Спиралевидное скручивание миокарда в систолу обеспечивает движение крови и выброс её в аорту дугообразно у верхушки, а не прямо «упираясь» в верхушку (см.рис.1).
2. Сокращаясь в систолу, трабекулы дают сужение полости левого желудочка (своеобразный функциональный стеноз), что увеличивает скорость выброса крови в аорту и способствует подъёму крови из выходного тракта левого желудочка до дуги аорты (примерно 15см) против сил гравитации.

Рисунок 1



\*В этой статье я стараюсь как можно более чётко отделить уже доказанные наукой факты от своих и чужих гипотез

Подобный внутрижелудочковый функциональный (систолический) стеноз бывает и при гипертрофической кардиомиопатии. Однако, здесь он связан не с функцией трабекул, а с патологическим утолщением стенки желудочка. При этом трабекулярный слой в местах патологически утолщенного миокарда отсутствует. Имеется однообразно организованный миокард, в котором нет дифференцировки на трабекулярный и циркулярный слои. Кроме того, патологически утолщенный миокард обладает неполноценной сократительной способностью, что проявляется в большинстве случаев эхокардиографически в гипокинезии этих участков миокарда.

**Взаимосвязи между функциональной анатомией миокарда и трансторокальной эхокардиографией (ЭХКГ)**

При трансторокальной ЭХКГ в **В**-режиме мы видим два слоя стенки левого желудочка: трабекулярный (некомпактный) и циркулярный (компактный). Трабекулы располагаются на передней, задней и боковой стенках левого желудочка (ЛЖ). В области межжелудочковой перегородки их нет. Эти слои отличаются по эхогенности, что хорошо видно на ультразвуковых аппаратах среднего класса. Эта дифференцировка слоёв по эхогенности (вероятно из-за анизотропного эффекта) имеет значение при дифференцировке кардиомиопатий и других форм гипертрофии стенок ЛЖ.

В **М**-режиме, который является развёрткой среза ЛЖ (в основном поперечного) по времени (но не в пространстве), мы видим в продольной и поперечной парастернальной позициях также два сокращающихся слоя задней стенки ЛЖ (как правило, менее эхогенный внутренний и более эхогенный внешний). При этом трабекулярный слой в **М**-режиме отображается сплошной полосой (трабекул как таковых не видно, так как нет развёртки в пространстве). Трабекулярный слой в **М**-режиме представлен проекцией

трабекулы, попавшей в данный срез, и по его сокращению мы можем судить о систолической функции трабекулы. Надо учитывать, что лучше всего трабекулы ЛЖ видны в **В**-режиме из апикальной четырёхкамерной позиции. В продольных и поперечных парастернальных срезах трабекулы ЛЖ видны не полностью, так как «срезаются» из-за угловой разницы между направлением ультразвукового луча и продольным направлением трабекул.

**Какие практические выводы следуют из изложенного?**

1. Рассчитывая объёмы ЛЖ в **В**-режиме (по традиционной методике), мы трассируем диастолическую и систолическую толщину ЛЖ, исключая трабекулы и папиллярные мышцы. Тогда и в **М**-режиме (по Тейхольцу) надо рассчитывать систолические и диастолические размеры задней стенки ЛЖ как толщину циркулярного (наружного слоя), а не трабекулярного (внутреннего) слоя.
2. Толщину задней стенки ЛЖ надо считать как толщину циркулярного (компактного) слоя миокарда. А толщину стенки ЛЖ в области межжелудочковой перегородки, надо считать, исключая толщину стенки правого желудочка (ПЖ) (что хорошо видно на аппаратах среднего класса). Тогда можно адекватно сравнивать толщину задней стенки ЛЖ и толщину стенки ЛЖ в области межжелудочковой перегородки.

Тогда эти нормативы будут колебаться от 0,7 до 1,0 см. А когда измеряется межжелудочковая перегородка традиционно (от полости правого желудочка до полости левого желудочка), то её толщина равна толщине стенки ЛЖ в области межжелудочной перегородки плюс толщина стенки ПЖ (примерно 0,2-0,4см), тогда норматив достигает 1,2см. Причём, толщину стенок ЛЖ измеряют в срезах на уровне концов створок митрального клапана. И это правильно, так как верхушка сердца образована переплетением продольных пучков миокарда и в ней нет циркулярного слоя (примерно 1/3-1/4 части задней стенки ЛЖ, прилегающей к верхушке).

Частые расхождения толщины стенок сердца на аутопсии и при ЭХКГ (с завышением толщины на аутопсиях) вероятно связаны с тем, что патологоанатомы измеряют толщину стенок сердца вместе с трабекулярным слоем, который потерял свой систолический и диастолический тонус.

1. Измерение локальной сократимости стенок ЛЖ как степень систолического утолщения (кроме степени кинеза стенки внутрь во время систолы) приобретает дополнительный смысл, так как трабекулярный слой может двигаться в систолу пассивно (без систолического утолщения) под влиянием сокращения циркулярного слоя.
2. Дилатация полости ЛЖ после инфаркта, возможно связана с тем, что из-за недостаточной функции трабекул кровь из ЛЖ выбрасывается в аорту не дугообразно, а «упираясь» в верхушку ЛЖ. Возможно с этим механизмом дилатации ЛЖ (в отличии от механизма клапанной недостаточности и перегрузки ЛЖ объёмом) связана дилатация ЛЖ не только при инфарктах, но и при некоторых других болезнях (таких как дилатационная кардиомиопатия, кардиомиопатия Такоцубо, при изолированном некомпактном миокарде, при некоторых формах эндомиокардитов). В отличии от дилатации ЛЖ из за перегрузки объёмом, дилатация ЛЖ из за недостаточной функции трабекул развивается, начинаясь с верхушки. Для неё характерна гиперфункция базальных и средних сегментов ЛЖ.
3. После распространённых субэндокардиальных инфарктов (со стойкими отрицательными **Тv2-4-6**  на ЭКГ) эхокардиографичски следует ожидать недостаточную функцию трабекулярного слоя, что можно подтвердить в **М**-режиме соответствующих областей ЛЖ в виде акинезии или гипокенизии или гипосистолии трабекулярного слоя миокарда.
4. При миокардитах и эндокардитах следует ожидать «стёртость» дифференцировки слоёв миокарда с недостаточной функцией трабекул.
5. При оценке локальной сократимости миокарда надо отдельно оценивать кинез и степень систолического утолщения как циркулярного, так и трабекулярного слоёв миокарда. При гипертрофии стенок ЛЖ особое внимание надо обращать на степень дифференцировки слоёв. При гипертрофической кардиомиопатии стенка миокарда утолщена без дифференцировки слоёв, так как в ней нет трабекулярного слоя.
6. При гипертрофии преимущественно трабекулярного слоя (продольная гипертрофия ЛЖ, в основном атеросклеротическая) электрокардиографические признаки гипертрофии будут проявляться в стандартных отведениях, а при гипертрофии циркулярного слоя – в грудных отведениях.

Заключение.

Изложенная в данной статье методика расчёта толщины стенок ЛЖ и его объёмов не нуждается в дополнительных обоснованиях и может применятся в практической ЭХКГ. Что касается гипотезы о значении трабекулярного слоя в сокращении миокарда, то она хорошо подтверждается в цикле работ института имени Бакулева [7,8] но нуждается в дополнительных исследованиях.

Надеюсь, что публикация данной статьи станет стимулом к их появлению.

Библиография

1. Михайлов С.С. Клиническая анатомия сердца. – М: Медицина, 1987.
2. Фатенков В.Н. Биомеханика сердца в эксперименте и клинике. – М: Медицина, 1990.
3. Практическая эхокардиография:руководство по эхокардиографической диагностике.- Ред. Флакскампф Ф.А.-МЕДпресс-информ,2013
4. Ромбальская А.Р. К вопросу о строении мясистых трабекул сердца человека// Медицинский журнал. – Минск, 2008. - № 4. С. 117-120
5. Якимов А.А. Трабекулы и межтрабекулярные пространства межжелудочковой перегородки сердца анатомическое строение и развитие// Морфология. - 2009. - № 2. С. 83-89
6. Якимов А.А. Трабекулы левожелудочковой поверхности межжелудочковой перегородки в сердце плода человека// Морфология. - 2012. - № 5. С. 44-48
7. Количественная оценка состояния внутрисердечного потока крови по динамической анатомии левого желудочка сердца на основании точных решений нестационарных уравнений гидродинамики для класса смерчеобразных потоков вязких жидкостей/ Талыгин Е.А. и др.// Успехи физиологических наук. – 2016.-Т.47,№1, С.48-68
8. Использование метода сглаженных частиц в реалистичной математической модели внутрисердечного потока крови – моделирование самоорганизу- ющегося смерчеобразного течения/ Бокерия Л.А.и др.// Физиология человека.-2017.-Т.43,№2, С.106-115