

МЕТОД КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПОСТНАГРУЗКИ ЕДИНСТВЕННОГО И ФУНКЦИОНАЛЬНО ЕДИНСТВЕННОГО ЖЕЛУДОЧКОВ СЕРДЦА

Зиньковский М.Ф., Бацак Б.В., Довгань А.М., Сейдаметов Р.Р.

*ГУ «Национальный институт сердечно-сосудистой хирургии имени Н.М. Амосова НАМН»
(Киев)*

В работе представлен новый метод количественной оценки постнагрузки единственного желудочка сердца с помощью компьютерной томографии с использованием специальных программ.

Ключевые слова: *единственный желудочек сердца, постнагрузка.*

Анатомическая коррекция единственного желудочка сердца (ЕЖС) и функционально ЕЖС практически невозможна. Распространение получила коррекция гемодинамики по Fontan, которая предусматривает отведение венозной крови от правых отделов сердца непосредственно в легочную артерию. Этим достигается исключение смешивания артериальной и венозной крови, повышение артериальной сатурации до нормы и снижение объемной перегрузки системного желудочка. Кровообращение по Fontan – искусственно созданная модель, не имеющая аналога в животном мире ни в норме, ни в патологии. В цикле кровообращения по Fontan легочный кровоток является продолжением венозного, поэтому единственный желудочек должен затрачивать энергию на преодоление сопротивления не только системных сосудов, но и легочных. Поэтому очень важно, чтобы сопротивление потоку венозной крови на ее пути от полых вен до левого желудочка в диастоле было минимальным.

Сформулированные международным сообществом кардиохирургов идеальные условия для операции Fontan отвечают этому требованию: отсутствие деформаций и сужений легочных артерий, отсутствие сопутствующей патологии, отсутствие значимых аортолегочных коллатералей, коэффициент Wood меньше 2 ед/мІ, среднее давление в ЛА меньше 12 мм рт.ст., чрезлегочный градиент давления не более 5 мм рт.ст., фракция выброса желудочка больше 50%, конечно-диастолическое давление в желудочке менее 10 мм рт.ст., масса желудочка меньше 200% от нормы. К сожалению, идеальные условия для создания полного cavoпульмонального соединения имеют лишь 30% больных с единственным желудочком сердца. Отклонения от этих условий являются факторами риска операции, продолжительности жизни и ее качества. Однако даже при идеальных условиях для операции Fontan продолжительность жизни оперированных пациентов в лучших случаях ограничена 15–25 годами. Считается, что это обусловлено спецификой кровообращения по Fontan, далеко не соответствующего норме.

В то же время особенности строения самого ЕЖС и его функция не рассматривались как фактор риска, несмотря на отличие анатомии ЕЖС и функционально единственного желудочка от нормального левого. ЕЖС отличается от нормального левого желудочка конфигурацией, объемом (он в 2–3 раза больше), наличием и выраженностью доминирования основной камеры, характером доминирующей камеры (левая, правая, неопределенная).

Систолическая функция сердца определяется взаимосвязью преднагрузки (диастолическое растяжение желудочков), постнагрузки (сумма сил, препятствующих выбросу крови из желудочков), сократимостью миокарда (свойство сердца развивать усилие), диастолической функцией (обеспечение свободного заполнения желудочка) и частотой сердечных сокращений. В норме механическая работа, совершаемая левым желудочком за одно сокращение в покое, составляет 0,9–1,0 Дж, правого желудочка – 0,2 Дж, суммарная работа – 1,2 Дж. Если бы кровообращение по Fontan обеспечивалось нормальным по структуре левым желудочком, его объем должен бы быть всего на 20% больше. Возникает вопрос: на что расходуется избыточная работа ЕЖС?

Очевидно, что постнагрузка единственного желудочка при нормальной или увеличенной преднагрузке значительно увеличена, а коэффициент полезного действия в такой же степени снижен.

Постнагрузка выражается систолическим напряжением (wall stress), которое испытывает стенка желудочка. Она может быть описана уравнением Лапласа:

$$S = \frac{P \cdot R^2}{h},$$

где S – постнагрузка, P – систолическое давление в желудочке, R – радиус полости желудочка, h – толщина стенки желудочка.

Уравнение Лапласа описывает напряжение стенки трубы, имеющей правильную цилиндрическую форму. Перенос формулы Лапласа на желудочек сердца дает лишь принципиальное представление о сути постнагрузки и не может быть использован в числовом выражении, так как левый желудочек и особенно общий желудочек имеют неправильную форму. Числовое выражение постнагрузки можно получить, заменив в уравнении радиус на площадь внутренней поверхности желудочка. Такую возможность дает компьютерная томография с использованием специальных программ, которые позволяют провести обработку изображений с последующей реконструкцией трехмерного объема.

Цель – разработка метода количественного выражения постнагрузки единственного (левого) желудочка сердца.

Материалы и методы. В 2011 году была выполнена КТ сердца с контрастированием и кардиосинхронизацией у 2 пациентов с ЕЖС через 10 лет после операции Fontan, у 1 пациента с функционально единственным желудочком – атрезией трехстворчатого клапана (АТК) в те же сроки после создания кавопульмонального анастомоза. Средний возраст – $15 \pm 2,2$ лет. Для сравнения обследован молодой здоровый мужчина.

Полученные данные в DICOM формате были экспортированы в одну из программ, которые позволяют провести обработку изображений с последующей реконструкцией трехмерного объема. При этом выполнялась сегментация структур сердца и его внутренних полостей. Результатом проведенных действий были пространственные модели миокарда желудочков, трабекулярно-папиллярного аппарата и полости в систолу и диастолу. Для последующего анализа полученные модели были сохранены в формате *.wrl. При помощи специализированных программ было выполнено:

- 1) определение объема полости функционально единственного желудочка;
- 2) определение площади внутренней поверхности функционально единственного желудочка в систолу и диастолу;

- 3) определение конечно-диастолического и конечно-систолического объема функционально единственного желудочка;
- 4) определение объема трабекулярно-папиллярного аппарата.

На основе полученных данных были вычислены: КДО, КСО, КДИ, толщина стенки, ФВ, УО, площадь внутренней поверхности желудочка в систолу, площадь внутренней поверхности желудочка в диастолу, средняя толщина стенки миокарда (результаты представлены в таблице).

Анатомические и функциональные показатели единственного желудочка сердца и левого желудочка при атрезии трехстворчатого клапана в сравнении с нормой

Показатели	ЕЖС №1	ЕЖС №2	АТК	Норма
КДО	236 мл	194 мл	131 мл	81,0 мл
КСО	183 мл	140 мл	81 мл	31,0 мл
КДИ	152,3 мл/м ²		157,8 м ²	
Толщина стенки	7,6 мм	5,4 мм	7,2 мм	4–5 мм
ФВ	22 %	28%	38 %	62%
УО	53 мл	54 мл	50 мл	50 мл
Площадь в систолу	253 см ²	208 см ²	159 см ²	
Площадь в диастолу	295 см ²	226 см ²	193 см ²	103 см ² I

Как видно из приведенных в таблице данных, фракция выброса при ЕЖС всего 22–28%, АТК ФВ левого желудочка также снижена, но в меньшей степени – 38%. Объясняется это большими размерами желудочков – при ЕЖС он больше нормы в 2,86 раза, при АТК – в 1,9 раза. При практически одинаковом ударном объеме, обеспечивающем энергетические потребности организма, ЕЖС функционирует в неэкономном режиме. Если теоретически предположить, что системное и легочное кровообращение по Fontan обеспечивает желудочек нормальной структуры, то площадь его внутренней поверхности была бы на 20% больше, т.е. 124 см². На примере пациента №1 можно продемонстрировать, что внутренняя поверхность общего желудочка больше необходимой на 112 см². Таким образом, 47,5% работы желудочка тратится не на сердечный выброс, а на преодоление сильно увеличенной постнагрузки. В случае № 2 ЕЖС работает более экономно, так как площадь внутренней поверхности желудочка меньше. Клинически это проявлялось лучшей физической работоспособностью, чем у пациента №1.

Выводы

1. Компьютерная томография с использованием специальных программ позволяет измерить площадь внутренней поверхности желудочка, толщину его стенки и дать количественную оценку постнагрузке.
2. На приведенном примере видно, что больше половины работы единственного желудочка сердца тратится на преодоление увеличенной постнагрузки.
3. Увеличение постнагрузки единственного желудочка сердца свидетельствует о неэкономном режиме его работы и является одной из причин его декомпенсации и сокращения продолжительности жизни.

Литература

1. Зиньковкий М.Ф. Врожденные пороки сердца. / К. Книга-плюс, 2010: 1208 с./ глава 2. – С. 21-25.

МЕТОД КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ ПІСЛЯНАВАНТАЖЕННЯ ЄДИНОГО І ФУНКЦІОНАЛЬНО ЄДИНОГО ШЛУНОЧКІВ СЕРЦЯ

Зиньковський М.Ф., Бацак Б.В., Довгань О.М., Сейдаметов Р.Р.

В роботі представлено новий метод кількісної оцінки постнавантаження єдиного шлуночка серця за допомогою комп'ютерної томографії з використанням спеціальних програм.

Ключові слова: *єдиний шлуночок серця, постнавантаження.*

THE NEW METHOD OF QUANTITATIVE ESTIMATION OF A SINGLE VENTRICLE AFTERLOAD

Zinkovsky M.F., Batsak B.V., Dovgan A.M., Seydametov R.R.

The new method of quantitative estimation of a single ventricle afterload with use a computer tomography and special programs is presented

Key words: *single ventricle, afterload.*