

ЦИКЛОВАЯ НАПОРНО-РАСХОДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА

Подволоцкий Н.М.¹, Подволоцкий М.Н.²

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова», Санкт-Петербург, Россия

² Федеральное бюджетное учреждение «Войсковая часть 26826», Владивосток, Россия

Контактная информация:

Подволоцкий Николай Михайлович
ФГБОУ ВО «Государственный
университет морского и речного флота
имени адмирала С. О. Макарова»,
ул. Двинская, д. 5/7, Санкт-Петербург,
Россия, 198035
E-mail: kaf_tckvu@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 01.02.2017
и принята к печати 23.05.2017.

Резюме

Цель исследования. Поиск адекватности параметров подачи крови в сердечно-сосудистую систему с помощью насоса аппаратов искусственного кровообращения (АИК) параметрам естественного кровообращения на основе построения напорно-расходной характеристики левого желудочка сердца, по данным существующих в медицинской литературе экспериментов. **Материалы и методы.** Основой для построения напорно-расходной характеристики левого желудочка сердца послужили поликардиограммы, которые получены в результате наиболее точного эксперимента. Используемые для построения характеристики сердца поликардиограммы учитывают колебания расхода и давления после закрытия аортального и клапана. **Результаты.** Получена цикловая напорно-расходная характеристика левого желудочка сердца в координатах давление — расход. Площадь полученной характеристики в принятых координатах представляет цикловую мощность левого желудочка сердца, включая затраты мощности на закрытие аортального клапана. **Заключение.** Полученная напорно-расходная характеристика левого желудочка сердца позволяет уточнить энергетические затраты на совершение сердечного цикла, уточнить законы подачи и напора для насосов АИК, при дальнейшей статистической обработке существующих поликардиограмм полученная характеристика сердца может служить уточнением существующих диагностических приёмов, выполняемых по развёртке параметров расхода и давления, а также самостоятельным диагностическим параметром, может также использоваться при моделировании системы кровообращения.

Ключевые слова: напорно-расходная характеристика сердца, левый желудочек сердца, цикловая мощность, цикловая напорно-расходная характеристика левого желудочка сердца.

Для цитирования: Трансляционная медицина. 2017; 4 (3): 17–22.

CYCLIC PRESSURE-FLOW RATE CHARACTERISTIC OF THE LEFT VENTRICLE OF HEART

Podvolotsky N. M.¹, Podvolotsky M. N.²

¹ Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St Petersburg, Russia

² Military Unit #26826, Vladivostok, Russia

Corresponding author:

Nikolay M. Podvolotsky
Admiral Makarov State University of
Maritime and Inland Shipping
Dvinskaya str. 5/7, St Petersburg, Russia,
198035
E-mail: kaf_tckvu@gumrf.ru

Received 01 February 2017; accepted 23
May 2017.

Abstract

Purpose. Search of adequacy of parameters of supplying of the blood in warmly vascular system by means of the pump of heart- assist device to parameters of a natural circulation on the basis of creation of the sure-flow rate characteristic of the left ventricle of heart according to existing in medical literature experiments. **Materials and methods.** Basis for construction pressure-flow rate characteristic of the left ventricle of heart polycardiograms, which are received as a result of the most exact experiment, served. The characteristics of the polycardiogram used for construction consider fluctuations of an expense and pressure after closing of the aortal valve. **Results.** The cyclic pressure-flow rate characteristic of the left ventricle of heart in coordinates pressure-flow rate. The area of the received characteristic in the accepted coordinates represents cyclic power of a left ventricle of heart, including power costs of closing of the aortal valve. **Conclusion.** The received pressure-flow rate characteristic of the left ventricle of heart allows to specify a metabolic cost on commission of a cordial cycle, to specify laws of the supply and a pressure for pumps, at further static processing of the existing polycardiograms the received characteristic of heart can serve as specification of the existing diagnostic receptions which are carried out on development of parameters of an expense, pressure and also independent diagnostic parameter, can be also used when modeling the blood circulatory system.

Key words: pressure-flow rate characteristic left ventricle of heart, cyclic power, cyclic pressure-flow rate characteristic of the left ventricle of heart.

For citation: Translyatsionnaya meditsina= Translational Medicine. 2017; 4 (3): 17–22.

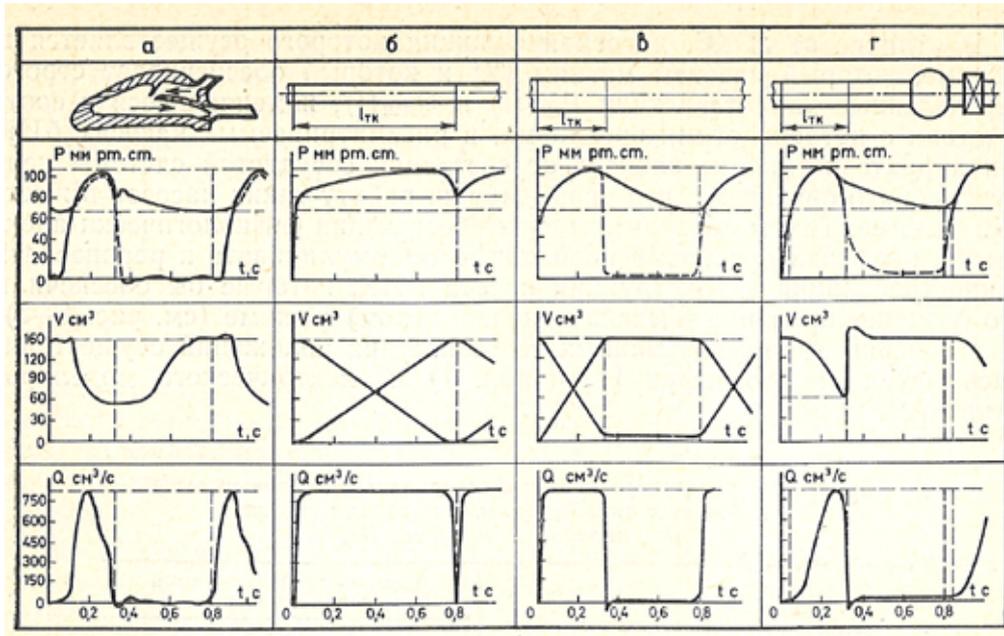
С момента появления аппаратов искусственного кровообращения (АИК) актуальна задача поиска адекватности подачи крови в сердечно-сосудистую систему с помощью насоса параметрам естественного кровообращения.

Как следует из работы [1], при поиске закона подачи насоса используют характеристики изменения во времени циклового давления, циклового объема и циклового расхода (рис. 1). Применение таких характеристик и их анализ позволяют работать в области параметров, близких к естественному кровообращению, что отвечает практическим потребностям.

Для дальнейшего совершенствования характеристик насосов (АИК) предлагается характери-

стики давление-время и расход-время объединить, и построить их в координатах давление (напор) — расход, исключив координату времени. Основанием для построения напорно-расходной характеристики служит то обстоятельство, что любому времени сердечного цикла соответствуют две координаты циклового давления (напор) и расход (рис. 1). В результате получим круговую цикловую диаграмму. Площадь, заключенная внутри кругового цикла в координатах давление-расход, представляет цикловую работу сердца. Таким образом, появляется дополнительный параметр для уточнения соответствия характеристик насосов АИК реальным параметрам естественного кровообращения.

Рисунок 1. Идеализированные характеристики давления P , объемов V и потоков Q для левого желудочного сердца



(а) и роликовых насосов (б — двухроликовый насос, жесткий режим; в, г — однорولیковый насос, жесткий и мягкий режим).

Рассмотрим принципиальную возможность построения напорно-расходной характеристики левого желудочка сердца по материалам, имеющимся в современной медицинской литературе.

Для построения напорно-расходной характеристики сердца нужны поликардиограммы, которые содержали бы данные по давлению и расходу через аорту, как функцию времени.

Для поставленной задачи пригодны результаты эксперимента по замерам параметров давления и расхода за время сердечного цикла в левом желудочке сердца, а также в аорте рис. 2 [2, 3].

Рисунок 2 содержит необходимые данные для построения характеристики напор-расход сердца для большого круга кровообращения (БКК). Нижняя часть графика представляет цикловой расход (мл/с), а средняя — цикловой напор в мм рт. ст. Каждому значению расхода соответствует свой напор в любой момент времени цикла, что положено в основу построения напорно-расходной характеристики сердца.

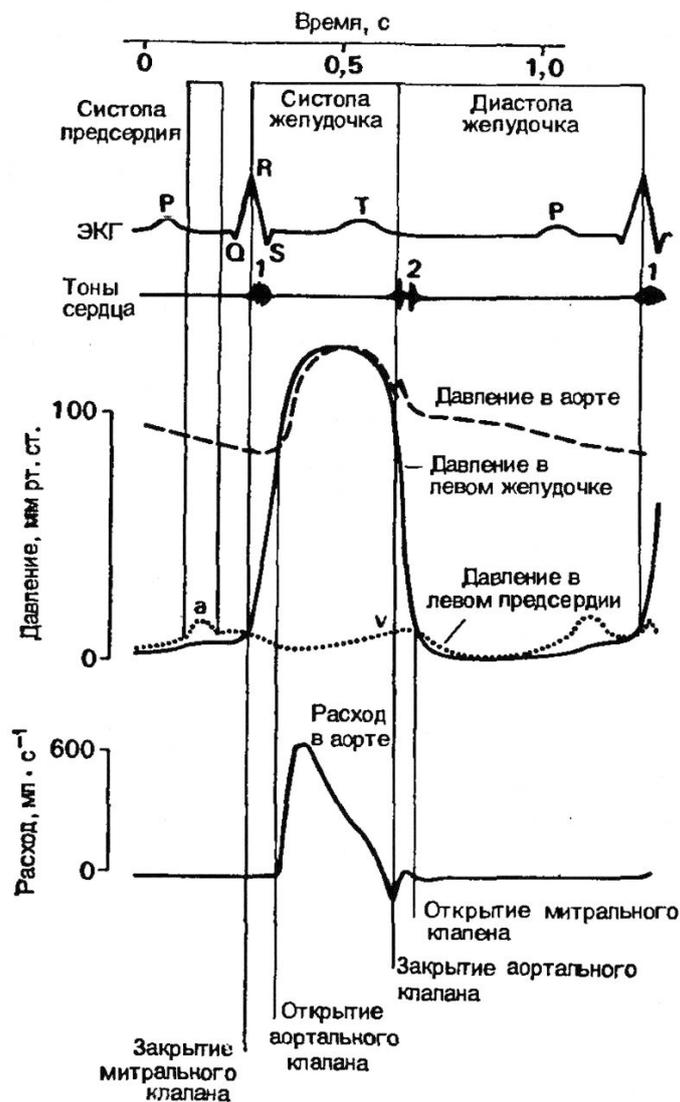
Изложенные выше данные позволяют представить напорно-расходную характеристику сердца для БКК, как первое приближение (рис.3). Она имеет вид кругового цикла, совершаемого против часовой стрелки, представляющего траекторию движения рабочей точки системы сердце — сосуды и характеризуемую величинами напора и расхода в любой момент времени.

Напорно-расходная характеристика обозначена буквами abcdefgha, см. рис. 3, и состоит из систолы abcd и диастолы defgha. Буквами на рис. 3 обозначены: а-диастолическое давление в момент открытия аортального клапана; b-максимальный цикловой расход; с — систолическое давление; d — начало закрытия аортального клапана; e, f и g — отрицательная и положительная амплитуды колебания напора и расхода в период закрытия аортального клапана; d и h — начало и конец закрытия аортального клапана.

Площадь ограниченная abcdefgha, относится к цикловой мощности сердца для БКК в координатах цикловой напор — цикловой расход. Значения площади расположенные справа от оси напоров характеризуют положительную часть мощности, расходуемую на подачу крови в сосудистую систему. Слева от оси напоров расположены площадки отрицательных значений мощности, вызванные обратным током крови необходимым для закрытия аортального клапана. К цикловой мощности сердца каждого большого круга кровообращения необходимо отнести сумму положительной и отрицательной мощностей, т.к. на формирование обратного тока затрачивается часть мощности развиваемой сердцем в период систолы.

Таким образом, можно утверждать, что напорно-расходная характеристика левого желудочка сердца, в первом приближении, получена.

Рисунок 2. Полусхематическое изображение процессов, происходящих за время сердечного цикла, в левых камерах сердца. Все значения давлений даны по отношению к атмосферному давлению



В качестве первоисточника для получения напорно-расходной характеристики сердца использована поликардиограмма из самого авторитетного в области механики кровообращения издания. Все поликардиограммы, опубликованные в медицинской литературе, подобны, они занимают важное место в объяснении и фактическом подтверждении работы сердца, клапанов и сосудов, т. е. они отражают объективную реальность и типовые закономерности. Это послужило основанием для их использования при построении напорно-расходной характеристики сердца для БКК.

Постановка вопроса о получении полной напорно-расходной характеристики левого желудочка сердца в первом приближении, недостаточное количество исходного рассмотренного материала, а также отсутствие целевых экспериментов, на-

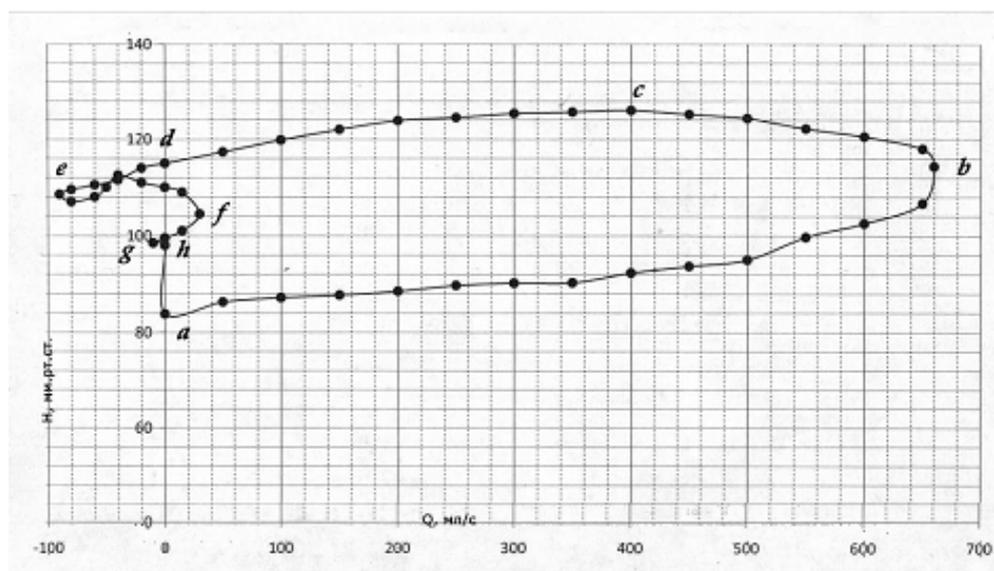
правленных на получение результатов по прямому назначению, не позволяют перейти к обобщению по полученной напорно-расходной характеристике.

Следующим шагом является получение полной напорно-расходной характеристики сердца для нормальной физиологии на основе: обобщения имеющихся в медицинской литературе материалов относящихся к решению рассматриваемого вопроса; проведение специальных целевых экспериментов.

Только получение типовой напорно-расходной характеристики для нормальной физиологии с описанием ее особенностей позволит делать количественные выводы о параметрах работы сердца и далее от типовой напорно-расходной характеристики перейти к диагностике.

По полученным предварительным результатам можно сказать, что на первом этапе наиболее веро-

Рисунок 3. Напорно-расходная характеристика сердца большого круга кровообращения в первом приближении (по источнику [3]): a, b, c, d, e, f, g, h — основные параметры напорно-расходной характеристики



ятное практическое применение напорно-расходная характеристика для левого желудочка сердца может найти при разработке и уточнении параметров АИК. Для их создания рассматриваются три характеристики: напор, расход и объем как функции циклового времени. Предлагаемая напорно-расходная характеристика объединяет все три упомянутых характеристики в одну. С этой точки зрения она является интегральным критерием для АИК, что более прогрессивно.

Выводы.

В первом приближении получена напорно-расходная характеристика для левого желудочка сердца.

Составляющие напорно-расходной характеристики сердца представляют собой площади в координатах напор — расход, ограниченные кривыми, которые проходит рабочая точка сосудистой системы при совершении систолы сердца. Суммарная площадь, ограниченная кривыми, представляет энергетические затраты на совершение систолы.

Полученная напорно-расходная характеристика сердца позволяет решать задачу поиска рабочей точки сердечно-сосудистой системы графическим путем, но эту задачу нельзя считать полностью решенной, так как пока не найдена характеристика сосудистой системы.

Так же полученная напорно-расходная характеристика сердца для систолы большого круга кровообращения не является полной, предстоит найти недостающие напорно-расходные характеристики для правого желудочка, левого и правого

предсердий. Они в сумме с характеристикой левого желудочка представляют полную цикловую напорно-расходную характеристику сердца. Практическая значимость последней состоит в том, что она позволяет найти полную мощность, затрачиваемую на совершение сердечного цикла с учетом обратного тока крови (мощности) на закрытие аортального и легочного клапанов, уточнить закономерности открытия и закрытия сердечных клапанов, уточнить закон подачи крови для аппаратов искусственного кровообращения и т.д.

Но, в данном случае, попытка сделать такие выводы, по первому приближению напорно-расходной характеристики левого желудочка сердца, следует считать недостаточно обоснованными.

Для подобных выводов необходима статистическая обработка имеющихся в литературе поликардиограмм и поиск полной цикловой напорно-расходной характеристики сердца для нормальной физиологии, что является очередным шагом на пути решения поставленной задачи.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциального конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Список литературы / References

1. Nechaev VV, Postnova TB, Tetel'baum IM, Chumak BB, Porfil'ev VE. Physiological analysis and model study of artificial circulation systems with metered-dose pumps. *Biomehanika krovoobrashhenija, dyhanija i*

biologicheskikh tkanej. Sbornik докладov II Vsesojuznoj konferencii po problemam biomehaniki. 1981; 98-104. In Russian. [Нечаев В.В., Постнова Т.Б., Тетельбаум И.М., Чумак Б.Б., Порфильев В.Е. Физиологический анализ и модельное исследование систем искусственного кровообращения с насосами дозированного расхода. Биомеханика кровообращения, дыхания и биологических тканей. Сборник докладов II Всесоюзной конференции по проблемам биомеханики. 1981; 98-104].

2. Karo K, Pedli T, Shroter R, Sid U. Mechanics of circulation. M.: Mir, 1981. p. 624. In Russian. [Каро К., Педли Т., Шротер Р., Сид У. Механика кровообращения. М.: Мир, 1981. с. 624].

3. Caro CG, Pedley TJ, Shroter RC, Seed WA. The mechanics of the circulation. New-York: Cambridge University Press, 2011.

Информация об авторах:

Подволоцкий Николай Михайлович, д.т.н., профессор кафедры теплотехники, судовых котлов и вспомогательных установок, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова;

Подволоцкий Михаил Николаевич, начальник отделения, в/ч 26826 г. Владивостока.

Author information:

Nikolay M. Podvolotsky, Dr Sci, prof, Department of Marine Engineering, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping;

Michael N. Podvolotsky, chief of department, m.u. 26826 Vladivostok.