

ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОЙ КОНТРПУЛЬСАЦИИ

Сударев А.М., Коротич Е.В., Кантор П.С., Усс О.И.
ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, ООО «КОНСТЭЛ»
sudarev@constel.ru

Экспериментально исследованы зависимости гемодинамических эффектов наружной контрпульсации от временных параметров импульсов компрессии. Обсуждены чувствительность гемодинамических эффектов к временной динамике компрессии, пути увеличения эффективности регулирования и основные ограничения.

The dependence of external counterpulsation hemodynamic effects from the time characteristics of compression pulses was experimentally tested. The investigation considers the sensitivity of hemodynamic effects to compression time dynamics, the ways of increasing of regulation effectiveness and the major constraints are also being discussed.

Методы частичной или полной временной замены нагнетательной функции сердца механическими устройствами, объединены понятием «вспомогательное кровообращение» (ВК). Наибольшее распространение получили следующие методы ВК – внутриаортальная баллонная контрпульсация и наружная контрпульсация. Наружная контрпульсация (НКП) – клинически доказанный эффективный метод лечения сердечно-сосудистых заболеваний, в котором гемодинамическое воздействие создается последовательной кардиосинхронизированной компрессией нижних конечностей с помощью пневматических манжет [2]. НКП являясь альтернативой внутриаортальной контрпульсации, может считаться неинвазивным и атравматическим методом.

При наружной контрпульсации необходимо учитывать скорость распространения возмущений в сосудистом русле для эффективного гемодинамического воздействия в «правильные» фазы кардиоцикла из-за большого расстояния между местом непосредственного воздействия на сосудистое ложе (нижние конечности) и основной точкой приложения – устьем аорты.

Экспериментальная часть данной работы была выполнена с использованием первого серийного отечественного комплекса для наружной контрпульсации «КАРДИОПУЛЬСАР», разработанного авторами [3]. Так же, как и в зарубежных устройствах, отечественный комплекс использует сигнал электрокардиограммы (ЭКГ) для синхронизации компрессии с кардиоциклом и фотоплетизмографию (ФПГ) для наблюдения за гемодинамическими эффектами воздействия.

Во время процедуры НКП достигают так называемого диастолического усиления, характеризующего увеличение давления перфузии в коронарных сосудах во время диастолы и одновременной систолической разгрузки для уменьшения механической работы сердца. Для этого добиваются соответствующего изменения динамики давления в устье аорты во время кардиоцикла.

Принято считать, что объективным показателем эффективности метода является диастолическо-систолический индекс (ДСИ). ДСИ представляет собой соотношение амплитуды пульсовой волны давления во время диастолы к амплитуде пульсовой волны давления во время систолы. Принято считать, что максимальный лечебный эффект процедуры НКП достигается при ДСИ $\sim 1 \div 2$.

В данной работе рассматривается чувствительность гемодинамических эффектов НКП к временной динамике компрессии.

Как показано нами с помощью разработанной математической модели [1], величина увеличения давления в аорте во время наружной контрпульсации находится в зависимости от задержки между временем окончания систолы и временем прихода импульса давления вследствие компрессии нижних конечностей.

Гемодинамический эффект контрпульсации заключается в «выдавливании» объема крови (заряда в эквивалентной электрической схеме) из сосудов, на которые воздей-

ствуют компрессионные манжеты. Этот объем вызывает волну давления, распространяющуюся в сторону аорты. В это же время в антеградном направлении распространяется пульсовая волна, вызванная сердечным сокращением. Суперпозиция этих волн приводит к результирующей динамике давления. Исходная форма кривой давления в аорте представляет собой импульс, нарастающий во время систолы и спадающий во время диастолы. Очевидно, что чем ближе максимум импульса давления, вызванного обжатием, к максимуму исходной формы кривой (систоле), тем выше результирующее давление. Естественным ограничением снизу является выполнение условия «непопадания» этого импульса в период систолы в районе аорты, так чтобы аортальный клапан закрывался до его прихода.

Наши экспериментальные исследования подтвердили эту зависимость. В таблице 1 приводятся данные исследований зависимости ДСИ, измеренного по фотоплетизмограмме (ФПГ) на пальце руки от величины задержки между R-зубцом ЭКГ и началом нагнетания давления в компрессионные манжеты. В эксперименте использованы относительно короткие импульсы компрессии с длительностью 150 мсек. В этом случае спад импульса давления приходящий к устью аорты не попадает в фазу систолы, таким образом не уменьшая максимальный ее уровень. Характерные формы кривой давления (ФПГ) при разных значениях задержек показаны на рис. 1, а зависимость ДСИ от времени задержки – на рис. 2.

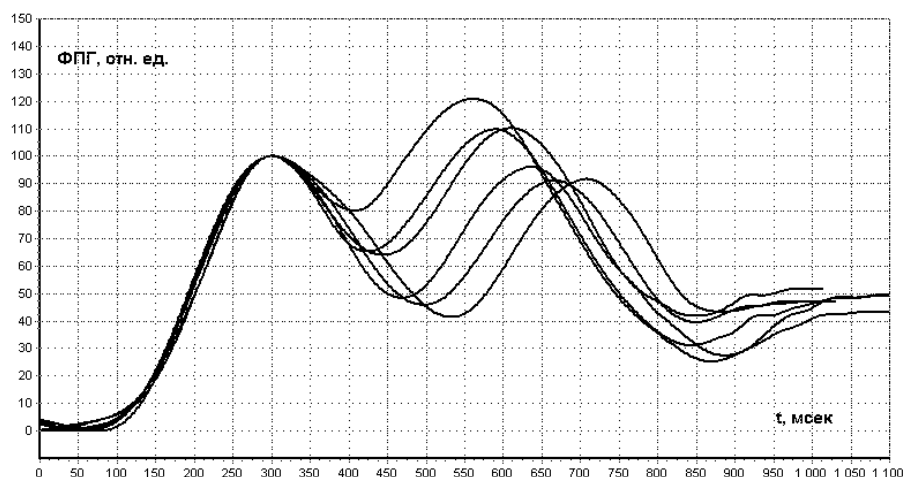


Рисунок 1

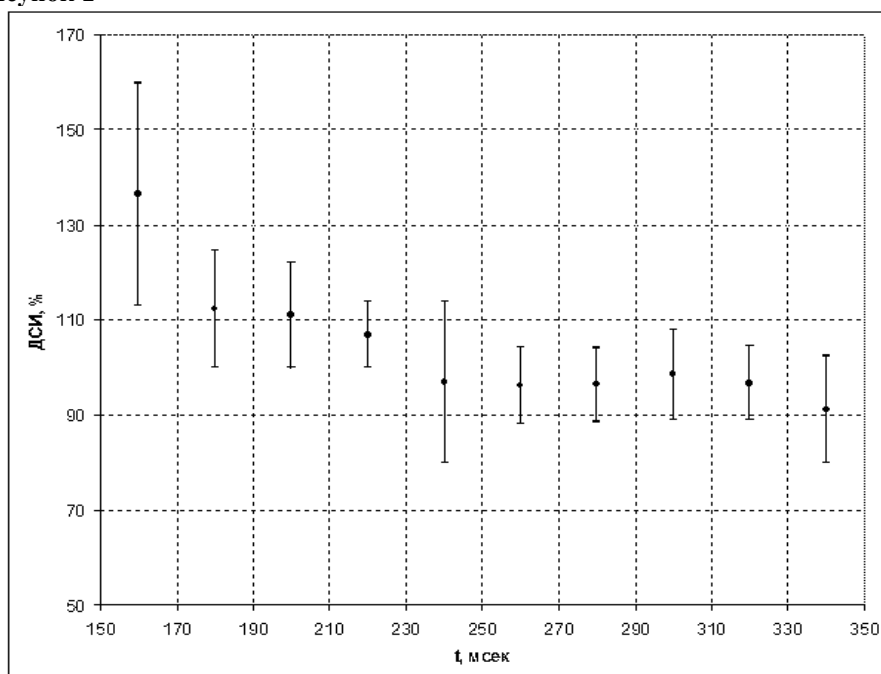


Рисунок 2

На практике синхронизация воздействия включает задачу определения QRS-комплекса и формирование импульсов давления в манжетах с задержкой, индивидуально зависящей от размеров пациента и скорости распространения пульсовой волны. После определения требуемой задержки погрешность формирования импульсов давления должна составлять не более 20-40 мсек. Для индивидуальной оптимизации задержки целесообразно использовать биоадаптивные алгоритмы оптимизации.

Следующим параметром, который находится в распоряжении врача, является выбор момента окончания компрессии. Задержка распространения соответствующего «отрицательного» импульса давления от нижних конечностей до устья аорты так же определяется скоростью распространения пульсовой волны. Очевидно, что для получения максимального уменьшения давления в устье аорты во время систолы необходимо подобрать время прихода ретроградной волны в этот же момент.

Следует отметить, что принятое в зарубежных образцах регулирование задержки начала и длительности компрессии в миллисекундах, не обеспечивает стабильного поддержания эффективной величины ДСИ. Учитывая вариабельность сердечного ритма, и возможность его плавного тренда представляется целесообразным использование в системе контрпульсации алгоритма слежения за текущей длительностью кардиоцикла и биоадаптивной подстройки момента окончания компрессии. Такое регулирование (адаптивное задание временных параметров с учетом изменений длительности кардиоцикла) реализовано в отечественном комплексе «КАРДИОПУЛЬСАР».

Работа поддержана грантами РФФИ 06-07-89321а, 08-07-00436а и 10-07-00481а.

Список литературы.

1. Сударев А.М., Бородянская Е.С., Дьяченко А.И. Моделирование гемодинамических эффектов наружной контрпульсации с помощью электрических аналогий. Тезисы доклада. IV Троицкая конференция «Медицинская физика и инновации в медицине». 2010. В печати.
2. Feldman A.M. Enhanced external counterpulsation: Mechanism of action. Clin Cardiol 2002; 25: 1111-1115
3. Sudarev A.M., Isaev I.A., Kantor P.S., Korotich E.V. Technical realization of the external counterpulsation equipment, Труды 4-й Российско-Баварской конференции по биомедицинской технике, Изд. МИЭТ, Москва, Зеленоград, 2008, стр. 233-235