

Мониторинг частотно-амплитудных параметров фибрилляции желудочков при искусственной перфузии сердца

Аннотация

Описан метод мониторинга частотно-амплитудных параметров фибрилляции желудочков (ФЖ) при искусственной перфузии сердца. Метод основан на спектральном анализе кардиосигнала в 30 частотах полугерцовой ширины в диапазоне 0,5...15 Гц и определении частоты, амплитуды и удельного веса осцилляций первой, второй и третьей по спектральной мощности частот ФЖ. Метод можно использовать для мониторинга частотно-амплитудных параметров ФЖ при длительной искусственной перфузии сердца.

Введение

В кардиохирургической практике операции на сердце проводят в условиях кардиopleгии (остановки сердца) и искусственного кровообращения [1], [2]. При кардиopleгии оперируемое сердце не перфузируется и находится в состоянии тотальной ишемии, что неблагоприятно для сердца [3]. Для восстановления сердца после периода кардиopleгии и ишемии проводится реперфузия, но реперфузия приводит к реперфузионным осложнениям, включая повреждение/некроз миокарда и угнетение сокращений [1]-[5]. При проведении операции на сердце в условиях кардиopleгии нельзя избежать ишемических и реперфузионных осложнений.

Альтернативой кардиopleгии является проведение операции на сердце в условиях фибрилляции желудочков (ФЖ) и искусственной перфузии сердца, что позволяет избежать побочных эффектов кардиopleгии, связанных с ишемией и реперфузией миокарда. В условиях перфузии фибриллирующий миокард не страдает от ишемии, а реперфузия после операции на сердце не нужна.

При проведении операции на сердце в условиях ФЖ и длительной искусственной перфузии сердца необходимо проводить мониторинг параметров ФЖ, что позволяет объективно оценивать функциональное состояние оперируемого сердца в режиме реального времени. В доступной нам литературе мы не нашли работ, посвященных мониторингу параметров ФЖ при искусственной перфузии фибриллирующего сердца во время кардиохирургической операции.

Целью рассматриваемой работы было апробирование метода мониторинга частотно-амплитудных параметров ФЖ при искусственной перфузии сердца.

Мониторинг основан на анализе кардиосигнала при ФЖ в условиях перфузии методом быстрого преобразования Фурье (БПФ) в диапазоне 0,5...15 Гц. Метод БПФ хорошо апробирован, доступен и позволяет объективно и в автоматическом режиме определять частотно-амплитудный состав осцилляций ФЖ [6]-[8]. Новизна в том, что анализ кардиосигнала методом БПФ мы проводили в 30 частотах полугерцовой ширины: 0,5; 1; 1,5; ...;

15 Гц и определяли частоту, амплитуду и удельный вес первой, второй и третьей по спектральной мощности частот ФЖ.

Методика

Для получения необходимых для тестирования кардиосигналов регистрировали электрограмму желудочков сердца в условиях искусственной перфузии сердца собаки при ФЖ. Было проведено 4 опыта на изолированном сердце собаки, перфузируемом кровью второй – поддерживающей собаки по стандартной методике [9] в соответствии с Приказом Министерства высшего и среднего специального образования СССР № 742 от 13.11.1984 «Об утверждении Правил проведения работ с использованием экспериментальных животных» и Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей, принятой в Страсбурге 18.03.1986 г.

Электрограмму желудочков сердца регистрировали от электродов, вколотых в правый и левый желудочки, на кардиографе «Кардиотехника-ЭКГ-8» («Инкарт», СПб) при частоте оцифровки 1000 Гц. ФЖ вызывали электрической стимуляцией сердца стимулами частотой 10 Гц и амплитудой 10 мА. Анализ кардиосигнала при ФЖ в условиях перфузии сердца проводили в односекундных отрезках электрограммы желудочков методом БПФ в 30 частотах полугерцовой ширины в диапазоне 0,5...15 Гц: 0,5; 1; 1,5; ...; 15 Гц.

Определяли частоту (в герцах) и амплитуду (в милливольт-тах) осцилляций первой, второй и третьей по спектральной мощности частот ФЖ, как показано на рис. 1. На спектрограмме односекундного отрезка электрограммы желудочков осцилляции частотой 9,5; 9 и 10 Гц стоят на 1, 2 и 3-м местах по спектральной мощности и доминируют в структуре частот осцилляций.

Затем определяли частоту (в герцах), амплитуду (милливольт-тах) и удельный вес (в процентах) осцилляций первой, второй и третьей по спектральной мощности частот ФЖ при перфузии сердца в 10-секундных отрезках ($n = 40$) и трехминутных отрезках ФЖ ($n = 720$) у 4 собак (частота – мода; амплитуда, удельный вес – $M \pm m$).

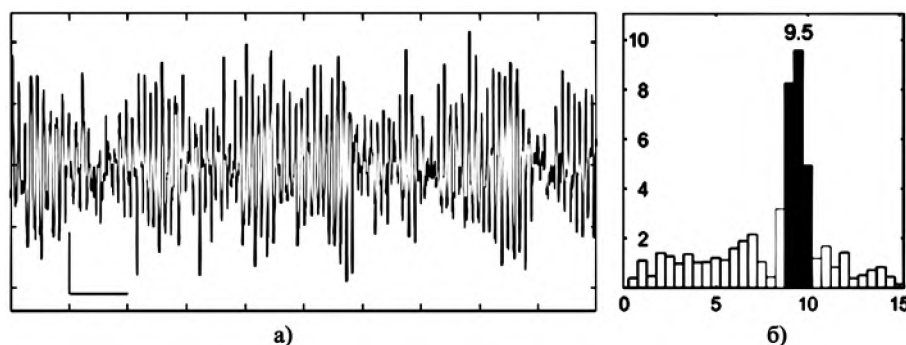


Рис. 1. Десятисекундный отрезок электрограммы желудочков (а) и спектрограмма первого односекундного отрезка электрограммы (б) при перфузии сердца собаки при ФЖ. Калибровка электрограммы: 2 мВ; 1 с. На спектрограммах: по оси абсцисс – частота, Гц; по оси ординат – амплитуда, мВ

Методика спектрального анализа кардиосигнала при ФЖ является оригинальной и разработана нами на основе предыдущих работ по изучению ФЖ [10], [11]. Статистическую обработку проводили в среде «R» [12] с использованием сравнения по критерию Welch [13].

Результаты

Результаты работы представлены на рис. 2. Анализ в 10-секундных интервалах ФЖ показывает, что полоса 1...3-й по спектральной мощности частот является устойчивой: первая частота имеет значения 9...10 Гц, а вторая и третья частоты – на 0,5...1 Гц больше или меньше первой частоты (рис. 2а).

Суммарная амплитуда осцилляций 1...3-й частот составляет 18...19 мВ, а небольшие различия амплитуды в 10-секундных интервалах ФЖ не являются достоверными (рис. 2б). Осцилляции 1...3-й частот, занимающие 1/10 диапазона 0,5...15 Гц, содержат 35...36 % спектральной мощности и доминируют в структуре частот осцилляций (рис. 2в). Доминантная частотно-амплитудная структура является практически стабильной при 30-минутной перфузии сердца при ФЖ, о чем свидетельствует постоянство частоты (9...10 Гц), амплитуды (18...19 мВ) и удельного веса (35...36 %) доминирующих осцилляций 1...3-й частот (рис. 2г-е).

Заключение

В статье описан метод мониторинга параметров ФЖ при искусственной перфузии сердца. Метод основан на анализе отрезков электрограммы желудочков сердца собаки методом

БПФ в диапазоне частот 0,5...15 Гц. Новизна метода в том, что спектральный анализ диапазона 0,5...15 Гц проводится в 30 частотах полугерцовой ширины и определяются частота, амплитуда и удельный вес осцилляций первой, второй и третьей по спектральной мощности частот ФЖ. Анализ кардиосигнала при ФЖ по 1...3-й по спектральной мощности частотам выявил доминантную частотно-амплитудную структуру ФЖ, при этом частота, амплитуда и удельный вес доминирующих осцилляций 1...3-й частот ФЖ были практически стабильными в условиях искусственной перфузии сердца при ФЖ.

Метод определения частотно-амплитудных параметров первой, второй и третьей по спектральной мощности частот ФЖ можно использовать для автоматического мониторинга ЭКГ или электрограммы желудочков сердца при ФЖ в условиях длительной искусственной перфузии сердца во время кардиохирургической операции. В условиях перфузии функциональное состояние фибриллирующего миокарда является стабильным, о чем свидетельствует стабильность частоты, амплитуды и удельного веса доминирующих осцилляций 1...3-й частот ФЖ. Частота ФЖ сердца собаки близка частоте ФЖ сердца человека [14], [15], а спектральный состав ЭКГ при ФЖ близок к спектральному составу электрограммы желудочков при ФЖ [8].

Список литературы:

1. Valooran G.J., Nair S.K., Chandrasekharan K., Rahul S., Dominic C. Del Nido cardioplegia in adult cardiac surgery – Scopes and concerns // *Perfusion*. 2016. Vol. 31. № 1. PP. 6-14.

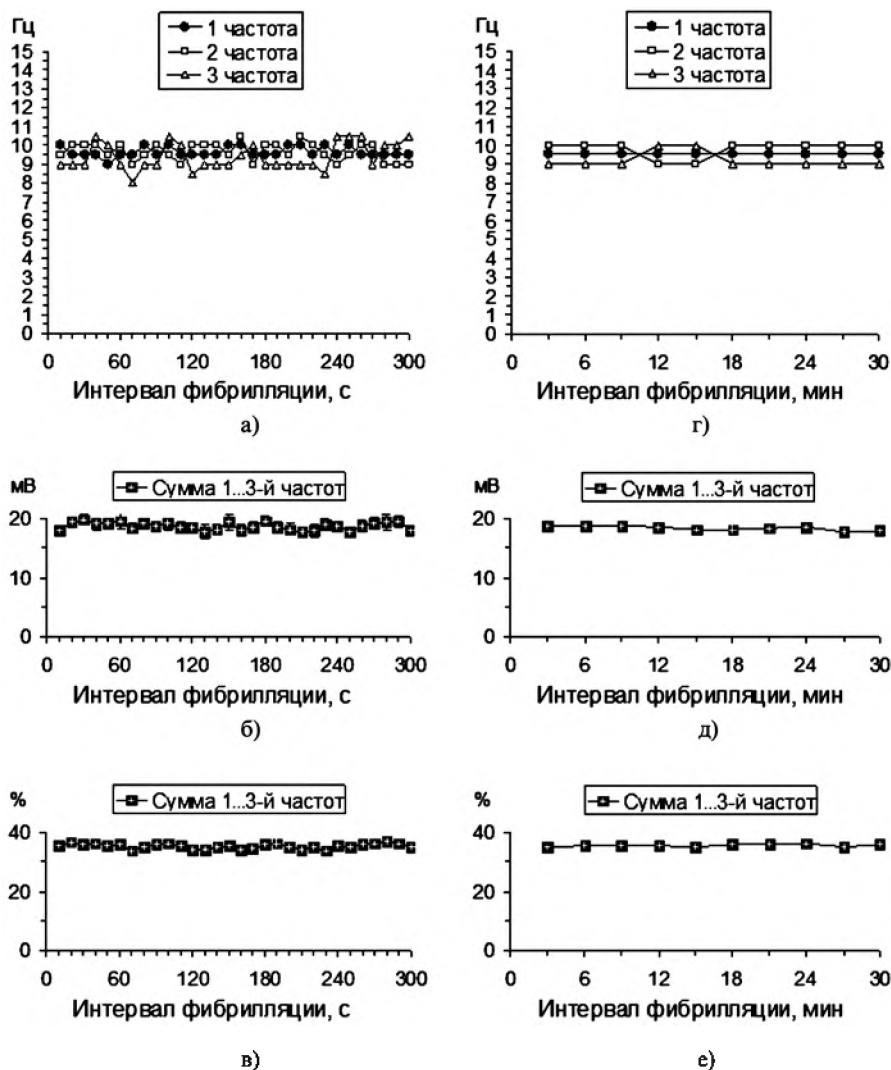


Рис. 2. Частота (в герцах), амплитуда (в милливольтках) и удельный вес (в процентах) осцилляций 1...3-й по спектральной мощности частот в 10-секундных (а)-(в) и трехминутных (г)-(е) интервалах ФЖ при перфузии сердца собаки: мода (а), (г); $M \pm t$ (б), (в), (д), (е); $n = 40$ (а)-(в); $n = 720$ (г)-(е); $p > 0,05$ при сравнении пар значений амплитуды (б), (д) и удельного веса (в), (е)

2. Yamamoto H., Yamamoto F. Myocardial protection in cardiac surgery: A historical review from the beginning to the current topics // Gen. Thorac. Cardiovasc. Surg. 2013. Vol. 61. PP. 485-496.
3. Gebhard M.-M., Bretschneider H.J., Schnabel P.A. Cardioplegia principles and problems // Physiology and pathophysiology of the heart / Ed. N. Sperelakis. – Boston: Kluwer, 1989. PP. 655-668.
4. Aass T., Stangeland L., Moen C.A. et al. Left ventricular dysfunction after two hours of polarizing or depolarizing cardioplegic arrest in a porcine model // Perfusion. 2019. Vol. 34. № 1. PP. 67-75.
5. Jennings R.B. Historical perspective on the pathology of myocardial ischemia/reperfusion injury // Circ. Res. 2013. Vol. 113. PP. 428-438.
6. Pandit S.V., Jalife J. Rotors and the dynamics of cardiac fibrillation // Circ. Res. 2013. Vol. 112. PP. 849-862.
7. Базаев Н.А., Тельшев Д.В. Комплексный алгоритм автоматического определения фибрилляции // Медицинская техника. 2009. № 2. С. 22-25.
8. Huizar J.F., Warren M.D., Shvedko A.G. et al. Three distinct phases of VF during global ischemia in the isolated blood-perfused pig heart // Am. J. Physiol. 2007. Vol. 293. PP. H1617-H1628.
9. Janse M.J. The effect of changes in heart rate on the refractory period of the heart. – Amsterdam: Mondeel-Offsetdrukkerij, 1971.
10. Гурьянов М.И. Организованная структура фибрилляции желудочков сердца собаки // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2016. Т. 102. № 3. С. 297-306.
11. Гурьянов М.И. Организованная частотная структура электрокардиограммы при длительном развитии фибрилляции желудочков сердца в эксперименте // Современные технологии в медицине. 2016. Т. 8. № 3. С. 37-48.
12. The R Project for Statistical Computing / <https://www.r-project.org/> (дата обращения: 28.02.2020).
13. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. – М.: Физматлит, 2006.
14. Иванов Г.Г., Востриков В.А. Фибрилляция желудочков и желудочковые тахикардии – базовые положения и диагностические критерии // Вестн. РУДН. Сер. «Медицина». 2009. № 1. С. 75-80.
15. Noujaim S.F., Berenfeld O., Kalifa J. Universal scaling law of electrical turbulence in the mammalian heart // Proc. Natl. Acad. Sci. 2007. Vol. 104. PP. 20985-20989.

Марат Ильич Гурьянов,
д-р мед. наук, профессор,
медицинский факультет,
Санкт-Петербургский государственный
университет,
Петр Казимирович Яблонский,
д-р мед. наук, профессор,
директор,
Санкт-Петербургский НИИ
фтизиопульмонологии Министерства
здравоохранения РФ,
декан,
медицинский факультет,
Санкт-Петербургский государственный
университет,
г. С.-Петербург,
e-mail: mgurianov@yandex.ru

М.В. Денисов, М. Вальтер, С. Леонард, Д.В. Тельшев

Влияние конструкции роторного насоса крови на уровень гемосовместимости

Аннотация

Приводятся результаты исследования влияния изменения геометрии проточной части роторного насоса крови (РНК) на уровень гемосовместимости для поддержки пациентов с терминальной стадией сердечной недостаточности. В результате проведенного моделирования были получены семейства расходно-напорных характеристик для шести геометрических моделей РНК, отличающиеся геометрией лопаток импеллера и расстоянием от импеллера до диффузора. Для рабочей точки 4,5 л/мин и 80 мм рт. ст. было оценено влияние изменений геометрии на величину объема, где реализуются повышенные касательные напряжения, и получены значения минимального, максимального и осредненного времен пребывания частиц крови в полости насоса. Численное моделирование течения жидкости проводилось в программном комплексе вычислительной гидродинамики «Fluent ANSYS 19.0».

Введение

Ежегодно в мире диагностируется около 1 млн новых случаев сердечной недостаточности [1]. Золотым стандартом лечения сердечной недостаточности является трансплантация сердца, что связано с неэффективностью медикаментозного лечения [2]. В США ежегодно делается до 2000 трансплантаций сердца, для Российской Федерации эта цифра составляет около 100 трансплантаций ежегодно [3]. Следует отметить, что количество пациентов, ожидающих донорское сердце, значительно выше, чем количество доступных донорских органов. Развитие современных систем искусственного кровообращения позволяет значительно повысить не только уровень выживаемости пациентов с различными формами сердечной недостаточности, но и уровень их жизни в целом, так как такие системы обладают небольшими размерами, являются носимы-

ми и практически не ограничивая физическую активность человека.

В качестве примера такой системы можно привести аппарат вспомогательного кровообращения АВК «Спутник» [4], представляющий собой сложное медицинское устройство, основным модулем которого является роторный насос крови (РНК). Выживаемость пациентов с использованием такого типа устройств превышает 70 % в течение первых двух лет после имплантации [4]. Несмотря на то что АВК имеет небольшие размеры, миниатюризация является актуальной задачей, так как она позволяет снизить инвазивность процедуры имплантации и расширяет возможности применения АВК для пациентов с общей площадью тела менее 1,5 м² [1], [5], [6]. Задачей рассматриваемого исследования является оценка влияния изменения геометрии проточной части РНК на уровень гемосовместимости [7].