

Определение вариабельности сердечного ритма по данным манометрии пищевода высокого разрешения

Аннотация

Рассматривается возможность вычисления вариабельности сердечного ритма на основе данных о сердечном ритме, полученных из сигнала манометрии пищевода высокого разрешения посредством предварительной обработки. Данные были взяты с одного датчика из центральной области, чтобы воздействие сердечной деятельности на сигнал было наиболее выраженным. После фильтрации был получен синусоидальный сигнал, который был обработан пиковым детектором для вычисления временной разницы между экстремумами. Были построены гистограммы и скаттерограммы, а также вычислены значения параметров вариабельности на основе данных манометрии и ЭКГ.

Введение

В современных системах манометрии пищевода высокого разрешения (МВР) применяется катетер, оснащенный, как правило, 36 миниатюрными твердотельными датчиками, откалиброванными относительно атмосферного давления [1], [2]. Такое количество датчиков позволяет охватить всю область пищевода при исследовании, что значительно повышает точность и диагностическую эффективность метода. Данные МВР визуализируются в виде поверхностных графиков, обладающих высокой разрешающей способностью и частотой дискретизации от 50 до 100 Гц [3], [4]. Катетер может быть дополнительно оснащен датчиками импеданса и кислотности, что позволяет проводить комплексный анализ состояния пациента [5]. Для поддержки принятия решения в системах МВР данные могут обрабатываться в автоматическом режиме, что особенно важно при долгосрочных исследованиях, так как ручная обработка не всегда представляется возможной [6].

Шумы в сигнале МВР обусловлены не только инструментальными помехами, но также дыхательной и сердечной деятельностью ввиду непосредственной близости к пищеводу [7], [8]. Сократительная активность сердца и желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) регулируются симпатическим и парасимпатическим отделами нервной системы. Это означает, что нервные волокна действуют одновременно и на сердце, и на органы ЖКТ, что, к примеру, объясняет снижение частоты сердечного ритма (ЧСС) в процессе пищеварения [9]. Наличие подобной корреляции позволяет более детально изучить сигнал МВР, что повышает информативность метода.

В рамках описываемой работы было проведено исследование по выделению из сигнала МВР полезной составляющей, соответствующей сердечному ритму, на основе чего впоследствии была вычислена вариабельность сердечного ритма (ВСР).

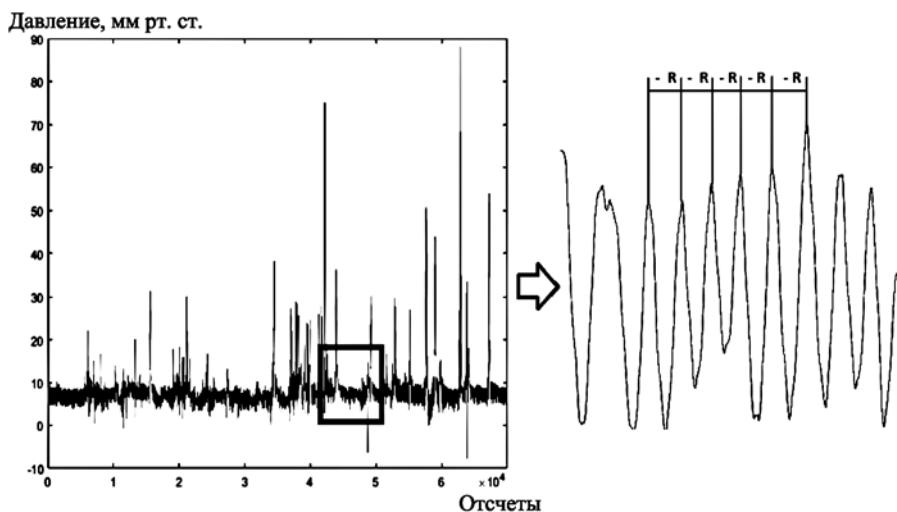


Рис. 1. Приближенный фрагмент графика, содержащий шумы одинаковой формы

Материалы и методы

Для проведения исследования была взята запись МВР длительностью 20 мин реального пациента без предварительного диагноза с частотой дискретизации 50 Гц. Был выбран датчик № 14 из центральной области катетера ввиду близкого расположения к сердцу, чтобы влияние сократительной активности сердца оказалось выражено наиболее сильно, что можно наблюдать на рис. 1. Дополнительно также были проанализированы данные с других датчиков. Было выдвинуто предположение, что периодически повторяющиеся скачки на графике можно соотнести с R-пиками на ЭКГ [10]. Сердечным сокращениям соответствует частота сигнала от 0,5 до 5 Гц. Для выделения этой составляющей из исходного сигнала МВР в пакете MATLAB посредством встроенной утилиты Filter Designer был спроектирован соответствующий полосовой фильтр с окном Кайзера с пропускными частотами от 0,8 до 1,2 Гц.

Была поставлена цель: на основании отфильтрованного сигнала МВР, по аналогии с электрокардиограммой (ЭКГ), посредством выделения R-пиков определить длительности R-R-интервалов, на основании чего затем вычислить ВСР. В зависимости от полученных результатов оценить возможность выделения ЧСС из сигнала МВР.

Результаты

После фильтрации полосовым фильтром был получен синусоидальный сигнал (рис. 2). С помощью стандартного пикового детектора из пакета MATLAB были найдены все экстремумы синусоиды, а затем вычислена разность по времени между полученными точками, т. е. была определена продолжительность предполагаемых R-R-интервалов. По этим данным была вычислена ВСР геометрическим, статистическим и ритмографическим методами [11]-[14].

В соответствии с геометрическим методом была получена гистограмма распределения, показанная на рис. 3а, где по оси ординат откладываются значения продолжительности R-R-интервалов, а по оси абсцисс – их количество. Мода последовательности равна 950 мс, что соответствует ЧСС около 63 уд/мин. Для сравнения на рис. 3б представлена гистограмма, построенная на основании записи ЭКГ нормального синусового ритма. Мода равна 850 мс, что соответствует ЧСС около 70 уд/мин.

Стоит отметить разницу в длительности записей: в случае МВР она составляет 20 мин, в случае с ЭКГ – 30 ч. Тем не менее вид и форма обеих гистограмм сопоставимы друг с другом. Это значит, что корреляция между сигналом МВР и сократительной активностью сердца действительно существует, а вычисление ВСР на основе данных МВР возможно.

Также для сравнения были построены ритмографические скаттерограммы ВСР, полученные на основе данных МВР и сигнала ЭКГ нормального синусового ритма (рис. 4), где по

оси ординат откладывается значение текущего R-R-интервала, а по оси абсцисс – следующего за ним. Из-за разницы в длительности исследований расположение точек на графике рис. 4б более интенсивное. Тем не менее общий вид скаттерограмм в обоих случаях схож и поддается сравнению.

В табл. 1 также приведены значения параметров ВСР, вычисленные на основе сигналов МВР, ЭКГ нормального синусового ритма и ЭКГ пациентов, делающих специальные дыхательные упражнения. Из-за разницы в длительности исследований сравнение значений некоторых параметров некорректно, поэтому дополнительно была взята еще одна запись ЭКГ меньшей длительности.

Заключение

Из табл. 1 можно видеть, что значения параметров ВСР, вычисленные на основе записи МВР без предварительного диагноза, ЭКГ нормального синусового ритма и ЭКГ при специальных дыхательных упражнениях, сравнимы друг с другом.

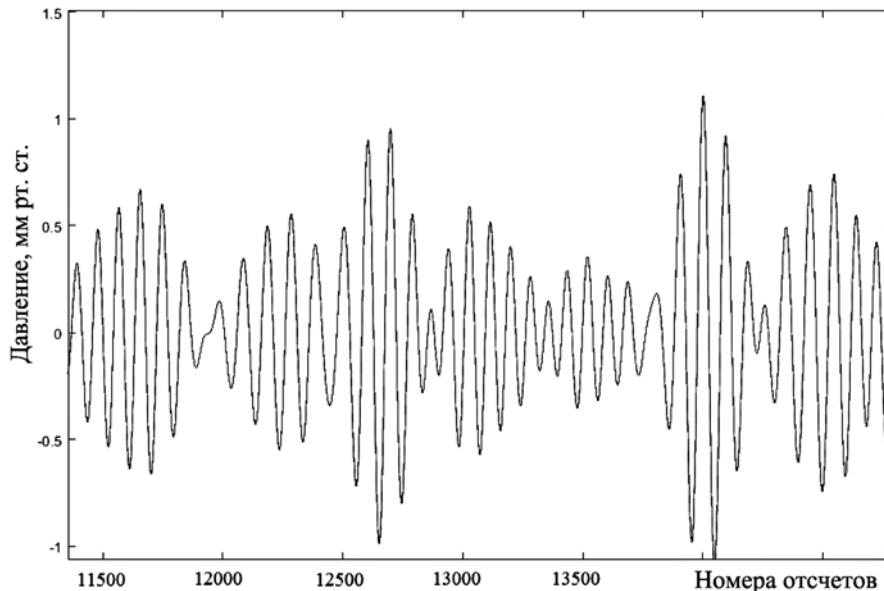


Рис. 2. Выделение из сигнала МВР сигнала частотой от 0,8 до 1,2 Гц посредством полосового фильтра

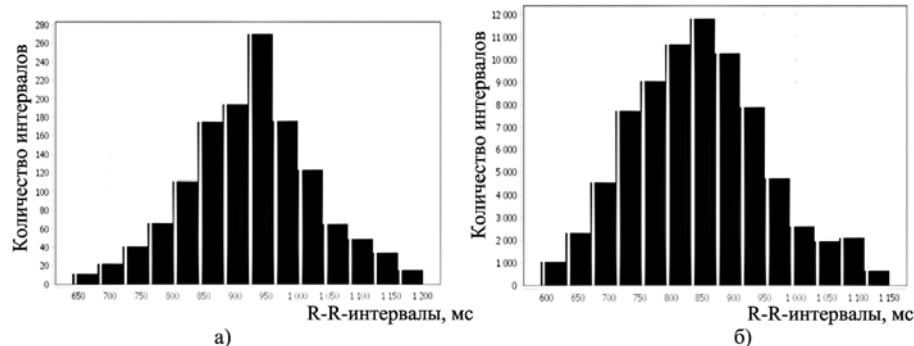


Рис. 3. Гистограммы распределения R-R-интервалов, построенные на основе: а) данных МВР; б) данных ЭКГ

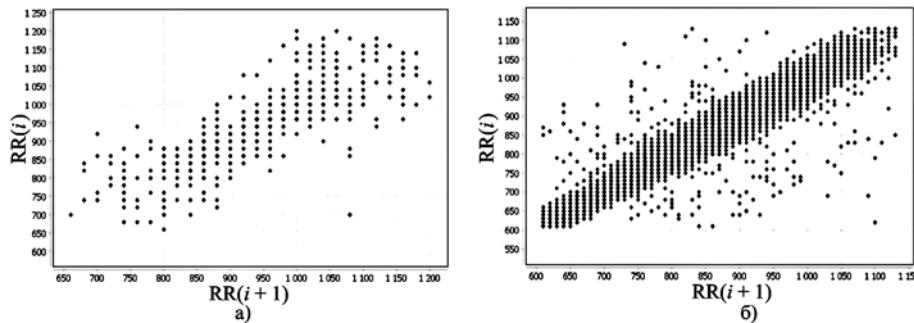


Рис. 4. Скаттерограммы, построенные на основе: а) данных МВР; б) данных ЭКГ

Это значит, что ВСР может быть вычислена по данным МВР посредством фильтрации исходного сигнала полосовым фильтром. Впоследствии это может дать дополнительную информацию о состоянии пациента при обработке записей манометрии медицинскими работниками. Определив соответствующие зависимости между параметрами ВСР и МВР, можно повысить эффективность и информативность диагностических методов, что немаловажно при заболеваниях, связанных с подвижностью пищевода.

Таблица 1

Вычисление параметров ВСР на основании данных МВР и ЭКГ

	МВР: без предварительного диагноза	ЭКГ: нормальный синусовый ритм	ЭКГ: дыхательные упражнения
Общие параметры			
Длина записи, ч	0,34	30,01	1,17
Максимальный интервал, мс	1200	1270	1270
Минимальный интервал, мс	660	640	770
Средний интервал, мс	935,7	969,6	1052,7
Количество интервалов	1352	111411	3986
Сердечный ритм, уд/мин	64,12	61,88	56,98
Статистические параметры			
SDNN, мс	100,28	132,39	119,25
SDANN, мс	11,29	116,12	26,09
SDNN index, мс	99,62	56,99	59,37
RMSSD, мс	63,26	40,71	46,82
NN50	194	983	256
PNN50, %	14,35	0,88	6,42
Геометрические параметры			
Мода	940	1080	1170
Амплитуда моды	270	12287	474
Вариационный размах	280	440	400
Индекс напряжения	0,001	0,013	0,001
Триангулярный индекс	10,02	18,14	16,81

Однако чтобы сделать окончательные выводы о возможности вычисления ВСР по данным МВР, необходимы данные, полученные после синхронной регистрации МВР и ЭКГ. Это позволит повысить ценность проведенного исследования, а также провести верификацию полученных результатов.

Список литературы:

- Carlson D.A., Pandolfino J.E. High-Resolution Manometry in Clinical Practice // Gastroenterology & Hepatology. 2015. Vol. 11. № 6. PP. 374-384.
- Clouse R.E., Stainano A., Alrakawi A. Application of topographical methods to clinical esophageal manometry // Clinical Gastroenterology. 2000. Vol. 95. № 10. PP. 2720-2730.
- Ayazi S., Crookes P.F. High-resolution Esophageal Manometry: Using Technical Advances for Clinical Advantages // Journal of Gastrointestinal Surgery. 2010. Vol. 14. № 1. PP. 24-32.
- Pandolfino J.E., Kahrilas P.J. AGA technical review on the clinical use of esophageal manometry // Gastroenterology. 2005. Vol. 128. № 1. PP. 209-224.
- Kahrilas P.J., Sifrim D. High-Resolution Manometry and Impedance-pH/Manometry: Valuable Tools in Clinical and Investigational Esophagology // Reviews in basic and clinical Gastroenterology. 2008. Vol. 135. № 3. PP. 756-769.
- Самойлов А.А., Тельшев Д.В. Алгоритм обработки данных манометрии высокого разрешения верхних органов желудочно-кишечного тракта // Медицинская техника. 2016. Т. 298. № 4. С. 41-44.
- Akoumianaki E., Maggiore S.M., Valenza F. The Application of Esophageal Pressure Measurement in Patients with Respiratory Failure // American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. 2014. Vol. 189. № 5. PP. 520-531.
- Stec S., Tarnowski W., Kalin K., Sikora K., Kulakowski P. High-Resolution Esophageal Manometry with ECG Monitoring for Management of Premature Ventricular Complexes-Associated Dysphagia // Springer Science+Business Media. 2010. Vol. 25. № 1. PP. 66-69.
- Wilmsurst P.T. Tachyarrhythmias triggered by swallowing and belching // Heart. 1999. Vol. 81. № 3. PP. 313-315.
- Manfrini O., Bazzocchi G., Luati A., Borghi A., Monari P., Bugiardini R. Coronary spasm reflects inputs from adjacent esophageal system // American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology. 2006. Vol. 290. № 5. PP. 85-91.
- Malik M., Bigger T., Camm P., Kleiger R., Malliani A., Moss A.J., Schwartz P. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use // European Heart Journal. 1996. Vol. 17. № 3. PP. 354-381.
- Karim N. Heart rate variability // Journal of Basic and Applied Sciences. 2011. Vol. 7. № 1. PP. 71-77.
- Acharya U.R., Joseph K.P., Choo N.K., Lim M., Jasjit S.S. Heart rate variability: A review // Medical & Biological Engineering & Computing. 2006. Vol. 44. № 12. PP. 1031-1051.
- Litvak D.A., Oberlander T.F., Carney L.H., Saul J.P. Time and Frequency Domain Methods for Heart Rate Variability Analysis: A Methodological Comparison // Psychophysiology. 1995. Vol. 32. № 5. PP. 492-504.

Александр Александрович Самойлов,
магистр, инженер,
Дмитрий Викторович Тельшев,
канд. техн. наук, доцент,
ст. научный сотрудник,
кафедра биомедицинских систем,
Национальный исследовательский
университет «МИЭТ»,
г. Москва, г. Зеленоград,
e-mail: a.a.samojlov@gmail.com