ID: 2015-11-3930-R-5512 Краткое сообщение

Хорев В.С., Плуталова А.В.

Перспективы применения методов анализа взаимодействий к временным рядам колебаний сердечно-сосудистой системы

ФГБОУ ВПО СГУ им. Н.Г. Чернышевского

Khorev V.S., Plutalova A.V.

Outlook on the methods of interaction analysis of the cardiovascular system time series

Saratov State University n.a. N.G. Chernyshevsky

Резюме

Методы анализа сложных взаимодействий по временным рядам сигналов медицинской природы стали использоваться сравнительно недавно и только начинают вызывать интерес у исследователей, занимающихся проблемами взаимодействий в сердечно-сосудистой системе. В данной работе рассматривается ряд аспектов применения методов нелинейной динамики для медицинских задач.

Ключевые слова: методы, временные ряды, анализ взаимодействий, нелинейная динамика

Abstract

Methods of interaction analysis between the complex systems of biological or medicine origin have only began spreading recently and still these methods are not popular enough among the physiologists investigating interactions between parts of the cardiovascular system. In our article, we outline prospects of possible use of nonlinear dynamics for the medical or psychological problem.

Key words: methods, time series, interaction analysis, nonlinear dynamics

Начало применения методов математического анализа для анализа ритмов сердечно-сосудистой системы было положено в конце 60х годов, что было связано с успехами космической медицины [1]. Р.М. Баевским были предложены несколько индексов, которые являются производными классических статистических показателей и вычисляются по несложным формулам: индекс напряжения регуляторных систем, индекс вегетативного равновесия, вегетативный показатель ритма, показатель адекватности процессов регуляции [2]. Данные индексы заслужили признание и широкую популярность, что привело к включению их в стандартные методики, рассчитываемые в диагностических аппаратах и развитию методов анализа вариабельности сердечного ритма. Среди этих методов на сегодняшний день можно отметить спектральный анализ, успешно используемый рядом авторов для задач медицинской диагностики [3-5]. Однако, данные методики позволяют оценивать показатели лишь для отдельно взятой части сердечно-сосудистой системы, в то время как исследование взаимодействия нескольких систем требует более сложных методик.

Наиболее простой и часто используемой методикой для анализа взаимодействия является взаимнокорреляционная функция. Взаимнокорреляционная функция — стандартный метод оценки степени корреляции двух последовательностей. Она часто используется для поиска в длинной последовательности более короткой заранее известной. Например, в работе [6] с её помощью были рассчитаны примерные оценки времени отклика в значениях артериального давления на изменение позы у пациентов, перенёсших инсульт. Известными минусами метода расчёта взаимнокорреляционной функции являются низкая точность, а также плохая работоспособность в случае синхронизации исследуемых систем. Кроме того полученные значения могут изменяться вследствие изменения соотношения частот взаимодействующих систем. Также, взаимнокорреляционной функция не позволяет выяснить направленность связи в случае, когда обе исследуемые системы могут находиться под воздействием неучтённой третьей [7].

Функция когерентности является аналогом коэффициента корреляции в частотной области и отражает степень линейной взаимосвязи гармонических компонент рассматриваемых процессов. Чем ближе функция когерентности к единице на данной частоте, тем больше совпадение гармонических составляющих на этой частоте [8]. Перспективы применения данной методики для анализа биомедицинских данных были рассмотрены в небольшом числе обзоров [9, 10]. Однако успешное методика находит чаще всего при анализе электроэнцефалограмм и в нейрофизиологии [11-13].

Ранее было показано, что у здоровых людей основные ритмы сердечно-сосудистой системы, а именно, главный сердечный ритм, дыхание и низкочастотные колебания сердечных сокращений и кровяного давления с собственной частотой 0,1 Гц, находятся в состоянии достаточно высокой степени синхронизации между собой, что обеспечивает хорошую адаптацию организма. Однако такая синхронизация может быть нарушена при развитии патологических процессов в сердечно-сосудистой системе, возникающих, например, при остром инфаркте миокарда, при котором происходит разрушение нормальных функциональных взаимосвязей между различными подсистемами регуляции сердечно-сосудистой системы [14]. Информация о степени синхронизованности ритмов сердечно-сосудистой системы оказывается важной для диагностики ее состояния [15, 16], является дополнительным критерием оценки кардиоваскулярного риска, а также эффективности и безопасности лечения у пациентов с такими заболеваниями как артериальная гипертония и ишемическая болезнь сердца [17, 18]. Для количественной характеристики синхронизации между двумя осцилляторами используется ряд показателей. В частности, популярны различные коэффициенты фазовой синхронизации, отражающие стабильность разности фаз колебаний; в работе [19] приведен их сравнительный анализ. Одним из наиболее перспективных остаётся метод расчёта суммарного процента фазовой синхронизации, аспекты применения

© Бюллетень медицинских Интернет-конференций, 2015

которого были рассмотрены в работе [20]. К сожалению, данная методика не позволяет оценить преимущественное направление воздействия между исследуемыми системами или задержку в связи.

Выявить задержку и направление связи могут методы, в которых учёт информационных характеристик одной системы помогает улучшить прогноз динамики второй системы. Наиболее широко известной является методика, предложенная Грейнджером в работе [21]. Чаще всего с её помощью анализируются взаимодействия между структурами мозга при различных патологиях [22, 23]. Поскольку одной из наиболее чувствительных характеристик сигнала к изменениям в исследуемой системе является фаза, поэтому методы, основанные на построении моделей именно фаз могут оказаться более чувствительными к изменениям характеристик взаимодействия между системами. Один из таких методов был предложен в работе [21]. Применение данной методики для анализа взаимодействий между подсистемами регуляции в сердечно-сосудистой системе человека позволило получить данные о характере взаимодействия 0.1 Гц колебаний в вариабельности сердечного ритма и вариабельности кровенаполнения дистального сосудистого русла. Учёт взаимодействия регуляторных механизмов, обусловливающих появление 0.1 Гц колебаний, позволяет применение методик, направленных на определение того, какой колебательный процесс может доминировать над другим, т.е. являться «ведущим», определяя на стройки «ведомого». Подобное взаимодействие «сердце – ДСР» на уровне 0.1 Гц колебаний может быть описано такими биофизическими параметрами как время запаздывания и доминирующее направление связи.

Трудности внедрения новых методик связаны со сложностью освоения их математического аппарата для разработки программного обеспечения, но постепенно их популярность увеличивается. Но современное развитие микропроцессорной техники и элементной базы позволяет реализовать даже очень сложные нелинейные методики в виде носимых устройств по типу холтеровских мониторов и, по-видимому, именно такие устройства имеют наибольшую перспективу широкого использования у специалистов, занимающихся физиологическими взаимодействиями, а также в диагностической практике.

Работа выполнена при поддержке гранта фонда «УМНиК» №6012ГУ2/2014.

Литература

1. Parin V.V., Baevsky R.M., Gazenko O.G. Heart and circulation under space conditions. Cor et Vasa 1965; 7: 165–184.
2. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М: Наука, 1984; 222 с.
3. Флейшман А.Н. Вариабельность ритма сердца и медленные колебания гемодинамики: нелинейные феномены в клинической практике. Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика 2011; 19(3): 179–183.
4. De Boer R.W., Karemuker J.M., Stracker J. On the spectral analysis of blood pressure variability. Amer J Physiol 1986; 251(3, Pt. 2): 685–687.
5. Киселев А.Р., Гриднев В.И., Посненкова О.М. и др. Динамика мощности низко- и высокочастотного диапазонов спектра вариабельности сердечного ритма у больных ИБС с различной тяжестью коронарного атеросклероза в ходе нагрузочных проб. Физиология человека 2008; 34(3): 57-64.
6. Chiu C.C., Yeh S.J., Liau B.Y. Using cross-correlation function to assess dynamic cerebral autoregulation in response to posture changes for stroke patients. *Computing in Cardiology* 2010; 37: 605–608.
7. Scargle J.D. Studies in astronomical time series analysis: III. Fourier transforms, autocorrelation functions, and cross-correlation functions of unevenly spaced data. Astrophysical Journal 1989; 343: 874–887.
8. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. Т. 1,2. М.: Мир, 1971; 316 с., 285 с.
9. Challis R.E., Kitney R.I., Biomedical signal processing. Part 3: the power spectrum and coherence function. Medical & Biological Engineering & Computing 1991; 29: 225–241.
10. Kitlas-Golińska A. Coherence function in biomedical signal processing: a short review of applications in neurology, cardiology and gynecology. SLGR 2011; 38(25): 73–82.
11. Davey M.P., Victor J.D., Schiff N.D. Power spectra and coherence in the EEG of a vegetative patient with severe asymmetric brain damage. Clinical Neurophysiology 2000; 111: 1949–1954.
12. Miranda de S´a A. M.F.L., Infantosi A.F.C., A coherence-based technique for evaluating the degree of synchonism in the EEG during sensory stimulation. Brazilian Journal of Biomedical Engineering 2002; 18(1): 39–49.
13. Quiroga R.Q., Kraskov A., Kreuz T., Grassberger P. Performance of different synchronization measures in real data: a case study on electroencephalographic signals. Phys Rev E 2002; 65: 041903–041914.
14. Prokhorov M.D., Ponomarenko V.I., Gridnev V.I., et al. Synchronization between main rhythmic processes in the human cardiovascular system. *Phys Rev E* 2003; 68: 041913.
15. Киселев А.Р., Хорев В.С., Гриднев В.И. и др. Взаимодействие 0.1 Гц колебаний в вариабельности ритма сердца и вариабельности кровенаполнения дистального сосудистого русла. *Физиология человека* 2012; 38(3): 92–99.
16. Киселев А.Р., Гриднев В.И., Караваев А.С. и др. Персонализация подхода к назначению гипотензивной терапии у больных артериальной гипертензией на основе индивидуальных особенностей вегетативной дисфункции сердечно-сосудистой системы. Артериальная гипертензия 2011; 17(4): 354–360.
17. Киселев А.Р., Гриднев В.И., Караваев А.С. и др. Коррекция вегетативной дисфункции сердечно-сосудистой системы у больных артериальной гипертонией на основе комбинированной терапии атенололом и амлодипином. *Российский кардиологический журнал* 2012; (6): 66–71.
18. Кульминский Д.Д., Боровкова Е.И., Хорев В.С., Миронов С.А. Разработка устройства суточного мониторинга состояния сердечно-сосудистой системы на основе анализа синхронизации ее ритмов. Бюллетень медицинских Интернет-конференций 2014; 4(7): 962-966.
19. Mormann F., Andrzejak R.G., Kraskov A., et al. Measuring synchronization in coupled model systems: A comparison of different approaches. Physica D 2007; 225: 29.
20. Киселев А.Р., Беспятов А.Б., Колижирина О.М. и др. Внутренняя синхронизация основных 0.1Гц-частотных ритмов в системе вегетативного управления сердечно-сосудистой системой. Физиология человека 2007; 33(2): 69-75.
21. Granger C.W.J. Investigating causal relations by econometric models and crossspectral methods. Econometrica 1969; 37(3): 424.
22. Baccal´a L.A., Sameshima K., Ballester G., et al. Studing the interactions betweenbrain structures via directed coherence and Granger causality. Applied Sig Processing 1998; 5: 40.
23. Sysoeva M.V., Sitnikova E., Sysoev I.V., et al. Application of adaptive nonlinear Granger causality: Disclosing network changes before and after absence seizure onset in a genetic rat model. Journal of Neuroscience Methods 2014; 226: 33–41.
24. Смирнов Д.А., Карпеев И.А., Безручко Б.П. Выявление связи между осцилляторами по коротким временным рядам: условие применимости метода моделирования фазовой динамики. Письма в ЖТФ 2007; 33(4): 19–26.

© Bulletin of Medical Internet Conferences, 2015