

**ЭНТРОПИЯ И DFA ВАРИАБЕЛЬНОСТИ РИТМА СЕРДЦА
ПРИ ДИСТАНТНОМ ПРЕКОНДИЦИОНИРОВАНИИ, ОРТОСТАЗЕ
У ЗДОРОВЫХ МОЛОДЫХ ЛЮДЕЙ И У ЛИЦ С ИЗМЕНЕНИЯМИ
НЕЙРОВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ КАРДИОДИНАМИКИ**

*А. Н. Флейшман¹, Т. В. Кораблина², Е. С. Смагина², С. А. Петровский¹,
Д. Е. Иовин², А. А. Неретин^{1,2}*

¹Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний

Россия, 654041 Кемеровская область, Новокузнецк, Кутузова, 23

²Сибирский государственный индустриальный университет

Россия, 654007 Кемеровская область, Новокузнецк, Кирова, 42

E-mail: anf937@mail.ru, kortv07@bk.ru, smagina.katya2911@gmail.com,
staspetrovskiy@yandex.ru, exhiit@gmail.com, hawktrike@gmail.com

Проведены исследования сравнительной физиологической оценки нелинейных методов анализа variability ритма сердца: аппроксимированной энтропии, энтропии образца, многомасштабной энтропии и детрентного флуктуационного анализа при дистантном ишемическом прекондиционировании и ортостазе у здоровых молодых людей и у лиц с нарушениями вегетативной регуляции. Цель: повышение информативности исследований и раскрытие механизмов нефармакологических методов защиты сердца и сосудов мозга от повреждений и стрессов.

Основные задачи работы включали:

1. Модельные исследования связей амплитудных и структурных особенностей variability ритма сердца с показателями энтропии и детрентного флуктуационного анализа.
2. Сравнительные исследования свойств аппроксимированной энтропии, энтропии образца, многомасштабной энтропии variability ритма сердца.
3. Исследования особенностей энтропийных показателей и детрентного флуктуационного анализа variability ритма сердца в условиях дистантного ишемического прекондиционирования, ортостаза и при изменениях нейровегетативной регуляции.

В модельных исследованиях искусственно генерируемых волновых сигналов найдено, что изменения амплитуды и мощности колебательных процессов не связаны с показателями энтропии. Результаты модельных исследований экстраполировались на реальные данные variability ритма сердца и частоты сердечных сокращений.

При сравнительных исследованиях аппроксимированной энтропии, энтропии образца, многомасштабной энтропии определены оптимальные показатели длины

выборки сравниваемых последовательностей исследуемых временных рядов, допустимые отклонения получаемых результатов для аппроксимированной энтропии, энтропии образца, многомасштабной энтропии, масштабирующий коэффициент для многомасштабной энтропии, а также достоинства и недостатки различных методов анализа энтропии variability ритма сердца.

Физиологические приложения разработанных методов были изучены нами у 34 испытуемых молодого возраста (19–25 лет) в динамике нагрузочных тестов, при дистантном ишемическом прекондиционировании и у 75 человек с измененной вегетативной регуляцией. Оценивалось влияние прекондиционирования на ортостатическую нагрузку. Показатели функционального состояния были представлены десятью показателями спектров variability ритма сердца, частоты сердечных сокращений, артериального давления и нелинейной динамики – аппроксимированной энтропии, энтропии образца, многомасштабной энтропии, детрентного флуктуационного анализа. Полученные результаты сравнивались с динамикой спектральных показателей при проведении ложного прекондиционирования. Достоверность различий оценивалась на основе парного t-критерия Стьюдента.

В динамике нагрузочных тестов при анализе variability ритма сердца, а также при ортостазе реактивные изменения структуры кардиодинамики наилучшим образом отражались в показателях энтропии образца и многомасштабной энтропии и в меньшей степени – в показателях аппроксимированной энтропии. При этом изменения показателей энтропии и детрентного флуктуационного анализа имели противоположную направленность при ортостазе.

Установлено, что энтропии – аппроксимированная, энтропия образца и многомасштабная – обладают свойствами подавления случайных воздействий и шумов. Эти свойства проявились в повышении информативности прогностических критериев изменений нейровегетативного профиля, то есть в случаях изолированного снижения HF и LF и увеличения частоты сердечных сокращений, которые ранее рассматривались как противоречивые критерии энергодефицитных состояний. Выраженное снижение энтропий variability ритма сердца повышало достоверность отрицательного прогноза состояния пациентов у больных с сахарным диабетом, полинейропатиями.

Отсутствие прямой зависимости показателей энтропии от мощности колебательных процессов variability ритма сердца снижает информативность показателей энтропии в оценке кардиодинамики при прекондиционировании, так как усиление мощности variability ритма сердца при этом является одним из ведущих признаков положительной динамики при дистантном ишемическом прекондиционировании.

Интерпретация результатов исследования основана на возможностях современных методов исследования и новых теоретических взглядах на функционирование организма и переходных процессах от здоровья к болезни.

Ключевые слова: Аппроксимированная энтропия, многомасштабная энтропия, энтропия образца, дистантное ишемическое прекондиционирование, вариабельность ритма сердца, ортостаз, детрентный флуктуационный анализ.

DOI: 10.18500/0869-6632-2016-24-5-37-61

Ссылка на статью: Флейшман А.Н., Кораблина Т.В., Смагина Е.С., Петровский С.А., Иовин Д.Е., Неретин А.А. Энтропия и DFA вариабельности ритма сердца при дистантном прекондиционировании, ортостазе у здоровых молодых людей и у лиц с изменениями нейровегетативной регуляции кардиодинамики // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2016. Т. 24, No 5. С. 37–61.

ENTROPY AND DFA OF HEART RATE VARIABILITY IN REMOTE ISCHEMIC PRECONDITIONING, ORTHOSTATIC TEST IN HEALTHY YOUNG SUBJECTS AND IN INDIVIDUALS WITH CHANGES IN AUTONOMIC REGULATION OF CARDIODYNAMICS

*A. N. Fleishman¹, T. V. Korablina², E. S. Smagina², S. A. Petrovskiy¹,
D. E. Ioven², A. A. Neretin^{1,2}*

¹Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational diseases
Kutuzova, 23, 654041 Kemerovo region, Novokuznetsk, Russia

²Siberian State Industrial University
Kirova, 42, 654041 Kemerovo region, Novokuznetsk, Russia

E-mail: anf937@mail.ru, kortv07@bk.ru, smagina.katya2911@gmail.com,
staspetrovskiy@yandex.ru, exhiit@gmail.com, hawktrike@gmail.com

There was conducted the research of comparative physiological assessment in nonlinear analysis methods of heart rate variability (HRV): the approximate entropy (ApEn), sample entropy (SampEn), multiscale entropy (MSE) and detrended fluctuation analysis (DFA) in case of remote ischemic preconditioning (RIPC) and orthostatic test both in healthy young subjects and individuals with autonomic regulation imbalance. The purpose of this work was to raise awareness of the researches as well as disclosing the mechanisms of non-pharmacological methods in heart and brain protection from damage and stress.

The main tasks included:

- 1) a model study of the relations between amplitude and structural HRV features regarding the entropy indexes and DFA;
- 2) a comparative study in the properties of ApEn, SampEn, MSE of heart rate variability (HRV);

3) the research of many features of entropy and DFA indicators of HRV in the context of RIPC, orthostatic test and autonomic regulation changes.

The artificially generated wave signals were used in the model studies. It was revealed that the changes in amplitude and power of the oscillatory processes were not associated with entropy indicators. The results of the model research were extrapolated to the data of HRV and heart rate.

During comparative studies of ApEn, SampEn, MSE there was defined the optimum length indicators (m) of the compared sequences in the studied time series. The acceptable deviation of the resulting parameter r for ApEn, SampEn, MSE, a scaling factor for MSE, as well as the advantages and disadvantages of different methods in the analysis of entropy of HRV.

Physiological applications of the developed methods were studied in 34 subjects of young age (19–25 years) in the dynamic load tests within RIPC and in 75 individuals with altered autonomic regulation. We evaluated the effects of RIPC to orthostatic test. The indicators of the functional state were represented by ten indexes of HRV spectra, heart rate, blood pressure and nonlinear dynamics (ApEn, SampEn, MSE, DFA). The results were compared to the dynamics of the spectral parameters during SHAM procedure. The significance of differences was assessed based on paired Student's t -test.

In dynamics of the load tests as well as orthostatic test the reactive changes in the structure of cardiodynamics were best reflected in the indicators of SampEn and MSE whereas ApEn didn't do as well. Moreover, the changes in the indices of entropy and DFA had the opposite direction during orthostatic test.

It was established that ApEn, SampEn and MSE can suppress noise. These properties were expressed in a form of increased information value for prognostic criteria in changes of autonomic profile, namely, in cases of isolated decrease in LF and HF and increase in heart rate, which were previously regarded as contradictory criteria of energy deficit states. A marked reduction in entropy of HRV increased the validity of negative prognosis for the patients suffering from diabetes mellitus or polyneuropathy.

The absence of a direct dependence of the entropy indicators in the oscillatory processes power of HRV will reduce the information value in indices of entropy regarding the assessment of cardiodynamics in RIPC, because the strengthening in the power of HRV is one of the leading signs for positive dynamics in RIPC.

The study results interpretation was based on the capabilities of modern research methods and new theoretical views on the body functioning and transition process from health to disease.

Keywords: Approximate entropy, multiscale entropy, sample entropy, remote ischemic preconditioning, heart rate variability, orthostatic test, detrended fluctuation analysis.

DOI: 10.18500/0869-6632-2016-24-5-37-61

Paper reference: Fleishman A.N., Korablina T.V., Smagina E.S., Petrovskiy S.A., Ioven D.E., Neretin A.A. Entropy and DFA of heart rate variability in remote ischemic preconditioning, orthostatic test in healthy young subjects and in individuals with changes in autonomic regulation of cardiodynamics // Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics. 2016. Vol. 24. Issue 5. P. 37–61.