

СУММАРНЫЙ ИНДЕКС ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРАВНОВЕСНОСТИ И ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ РИТМА СЕРДЦА У ВОЕННОСЛУЖАЩИХ

[В. Ю. Куликов, Е. А. Арчибасова](#)

*ГБОУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава
России (г. Новосибирск)*

Для оценки особенностей влияния вегетативной нервной системы на вариабельность ритма сердца и структуру межсистемных и межорганых взаимоотношений в норме и патологии введен термин Суммарный индекс вегетативной неравновесности, представляющий из себя сумму LF и HF. При обследовании 45-ти военнослужащих в возрасте от 20 до 48 лет было показано, что предлагаемый индекс коррелирует с суммарной мощностью спектра (TP) с вероятностью 0,96, что позволяет считать перспективным его применения для анализа широкого класса физиологических и клинических процессов и явлений с позиций неравновесной биотермодинамики.

Ключевые слова: вариабельность ритма сердца, неравновесные системы, биотермодинамика, суммарный индекс вегетативной неравновесности.

Куликов Вячеслав Юрьевич — доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой нормальной физиологии ГБОУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет», рабочий телефон: 8 (383) 225-07-37, e-mail: Kulikov_42@mail.ru

Арчибасова Елена Алексеевна — кандидат медицинских наук, доцент кафедры нормальной физиологии ГБОУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет», рабочий телефон: 8 (383) 225-07-37

Введение. Живой системе присущи принципиально важные свойства: устойчивая термодинамическая неравновесность, определяющая её высокую реактивность, при минимальном пороге чувствительности; пространственно-временная упорядоченность процессов и их структурно-функциональная гетерогенность, наличие системы осцилляторов, способных воспринять сложное физическое поле и нелинейность реагирования регуляторных и гомеостатических систем на внутренние и внешние

возмущающие воздействия. Состояние дискретной устойчивой неравновесности, характеризующее появление нового качества как в системах регуляции в биологических системах в целом, так и их реакцию на средовые воздействия в частности, отражает важнейшее свойство структурно-функциональной организации биологических систем, которое можно сформулировать как принципы неаддитивности и дополнительности [1].

По-видимому, эти принципы лежат в области изучения неравновесных и нелинейных взаимодействий как в биологических системах в целом, так и в их рефлексии на воздействия средовых экологических факторов.

Нелинейные взаимодействия в условиях критической неравновесности способны порождать «чудо создания порядка из хаоса», изменяя сам характер поведения системы, который был обозначен как режим рождения порядка. В ней могут формироваться новые динамические состояния, названные И. Пригожиным диссипативными структурами (примеры таких структур в синергетике — конвективные ячейки Бенара, химические часы, образование колоний у коллективных амёб, переход от ламинарности к турбулентности и др.). Одной из попыток распространить основные положения термодинамики линейных необратимых процессов на явления индивидуального развития, роста и старения живых организмов были предприняты Пригожиным, 1986 [2]. Было сформулировано положение о том, что если открытая система находится недалеко от состояния равновесия, то она относится к так называемой линейной области термодинамики необратимых процессов, если же система далека от состояния равновесия, то она подчиняется принципам нелинейных, необратимых процессов, причем в области, где не выполняется критерий стабильности, происходит возникновение новых структур за счет феномена упорядоченности. Отметим, кстати, что и Э. Бауэр [3] не занимался специально вопросами пространства и времени, но его конкретные исследования проблем теоретической биологии напрямую связаны с ними и дают для них важные наведения. В своей главной книге «Теоретическая биология» он сформулировал принцип устойчивого неравновесия живых систем: «Все и только живые системы никогда не бывают в равновесии и исполняют за счёт своей свободной энергии постоянно работу против равновесия, требуемого законами физики и химии при существующих внешних условиях». Обозначив этот принцип как «принцип устойчивого неравновесия» Бауэр полагал, что это обозначение наиболее ясно выражает смысл принципа и характерные с точки зрения термодинамики признаки живых систем.

Действительно, живой системе присущи принципиально важные свойства:

- устойчивая термодинамическая неравновесность, определяющая её высокую реактивность, при минимальном пороге чувствительности;
- устойчивость, определяющая и требующая высокой степени взаимообусловленности и пространственно-временной упорядоченности процессов;
- структурная гетерогенность, определяющая наличие осцилляторов любого типа, способных генерировать и воспринять сложное физическое поле [4].

Состояние дискретной устойчивой неравновесности, характеризующее появление нового качества как в системах регуляции в биологических системах в целом, так и в их реакциях на средовые воздействия в частности, отражает важнейшее свойство структурно-функциональной организации биологических систем, которое можно сформулировать как принципы дополнительности [4]. Н. Бор, который сформулировал это положение, обосновал необходимость многоуровневого и многопараметрического анализа изучаемых явлений с использованием различных методических подходов, разрабатываемых в рамках определенных концептуальных систем. Именно только такой

подход позволяет исследователю все больше приблизиться к пониманию фундаментальных и объективных закономерностей изучаемых явлений. Следует иметь в виду, что каждая из концептуальных систем имеет как свой специфический понятийный аппарат, так и использует достаточно оригинальные математические методы обработки полученных данных.

Следует, вероятно, признать, что в зависимости от уровня неравновесности изменяется и качество межсистемных и межорганных отношений, они приобретают все более нелинейный характер, характеризуясь новыми пространственно-временными отношениями, наличием критических точек фазовых переходов, хорошо изученных в классической термодинамике переходных процессов.

Конкретная реализация высказанных положений невозможна без анализа изменения реактивности основных регуляторных систем организма, которые, как нам представляется, задают и регулируют состояние динамической неравновесности в каждом конкретном случае. Естественно, что в первую очередь речь идет о симпатическом и парасимпатическом отделах вегетативной нервной системы (ВНС), баланс между которыми изменяется как в норме, так и патологии, свидетельствуя о преобладании катаболических либо анаболических процессов.

При оперировании критериями оценки variability ритма сердца было убедительно показано [5], что типичным ответом на стресс является снижение общей мощности спектра (показатель TP), повышение активности симпатико-адреналовой системы, оцененной по отношению LF/HF, но с учетом абсолютных значений LF-компонента, а также снижение парасимпатической реактивности (коэффициент 30:15). Автор [4] подчеркивает, что соотношения между симпато-парасимпатическим балансом не всегда носят характер прямолинейной зависимости между активацией симпатического отдела и угнетением парасимпатического отдела автономной нервной системы. Возможны варианты, когда имеет место абсолютное увеличение симпатико-адреналовой активности при почти неизмененных значениях активности парасимпатического отдела ВНС, и наоборот — незначительное увеличение симпатико-адреналовой активности сопровождается отчетливым снижением тормозных влияний. В этом случае следует говорить об относительном преобладании активности симпатико-адреналовой системы.

Снижение текущего функционального состояния (показатель TP), избыточная активация симпатико-адреналовой системы (отношение LF/HF) и уменьшение активности (тонуса) парасимпатической системы регуляции (HF-компонент и коэффициент 30:15) являются патогенетической основой развития реакций дезадаптации, которая может клинически проявляться как синдром вегетативной дисфункции. Мы полагаем, что кроме используемого автором и другими исследователями коэффициента отношения между LF и HF, как показателя преобладания того или иного отдела ВНС, целесообразно ввести новый коэффициент, который и должен отражать уровень вегетативной неравновесности

Цель исследования: оценить характер взаимосвязи между суммарным индексом вегетативной неравновесности (СИВН) и variability ритма сердца у военнослужащих

Материалы и методы. Было обследовано 45 военнослужащих в возрасте от 20 до 48 лет после их добровольного информированного согласия. Запись кардиоинтервалограммы выполняли с использованием аппаратно-программных комплексов фирмы «Нейрософт» и «КардиоБОС» (разработчик — канд. мед. наук О. В. Сорокин), позволяющего проводить автоматическую обработку данных variability ритма сердца (BPC). Суммарный

индекс вегетативной неравновесности можно представить как $SIBN = (LF + HF)$. Из введения этого индекса становится понятно, что соотношение, т. е. баланс между LF и HF, как и активность метаболических процессов в целом, может реализоваться на разном уровне суммарной мощности ВНС организма.

Запись кардиоинтервалограммы проводилась в течение 5 мин в состоянии покоя. Полученные результаты обрабатывались с использованием пакета прикладных программ Statistika 7.0.

Результаты исследований. На 1-м этапе работы оценивалась гистограмма распределения обследованных лиц в зависимости от возраста. Эти данные, представленные на рис. 1, показали, что обследованные лица достаточно равномерно представлены в различных возрастных группах. Действительно, средний возраст обследованных был равен $34,9 \pm 7,2$ (SD), медиана была равно 35-ти, что свидетельствует о нормальном распределении выборки. Интерквартильный размах лежал в пределах 25-ти (25 %) и 40 (75 %).

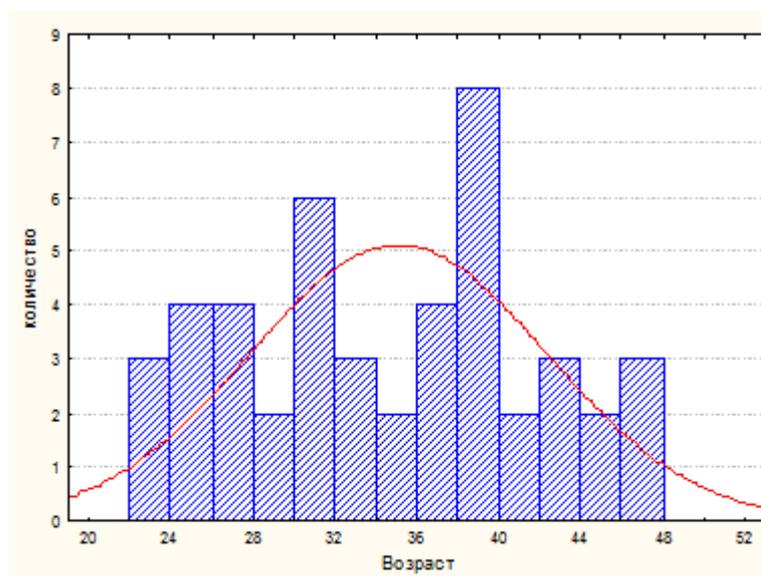


Рис. 1. Гистограмма распределения обследованных лиц по возрасту

В таблице представлены данные о возрасте обследованных лиц, который с высоким уровнем достоверности ($P < 0,0001$) отличался между выделенными возрастными группами.

Распределение обследованных лиц по возрасту

Группы	Количество	Возраст ($M \pm m$)
Общая	45	$34,93 \pm 1,07$
Группа 1 — 20-30 лет	13	$26,23 \pm 0,59$
Группа 2 — 30-40 лет	22	$35,59 \pm 0,71$
Группа 3 — старше 40	10	$44,80 \pm 0,71$

С использованием как параметрических, так и непараметрических методов описательной статистики была оценена достоверность отличий регистрируемых показателей между выделенными группами. Анализ не выявил достоверных отличий между регистрируемыми показателями в выделенных группах за исключением показателя HF, который достоверно отличался между 1-й и 3-й группами. Если в 1-й группе этот показатель был равен $26,15 \pm 4,2$, то в 3-й он равнялся $14,6 \pm 2,9$ при $P < 0,05$.

На 2-м этапе были проанализированы гистограммы распределения индексов, оценивающих характер взаимосвязи между HF и LF, т. е. коэффициентов $K1 = LF/HF$ и $K2$ (т. е. СИВН) $= LF + HF$. На рис. 2 и 3 представлены эти гистограммы, из которых наглядно видно, что соответствующие выборки, во-первых, имеют ненормальное распределение и, во-вторых, структура распределения обозначенных коэффициентов отличается друг от друга

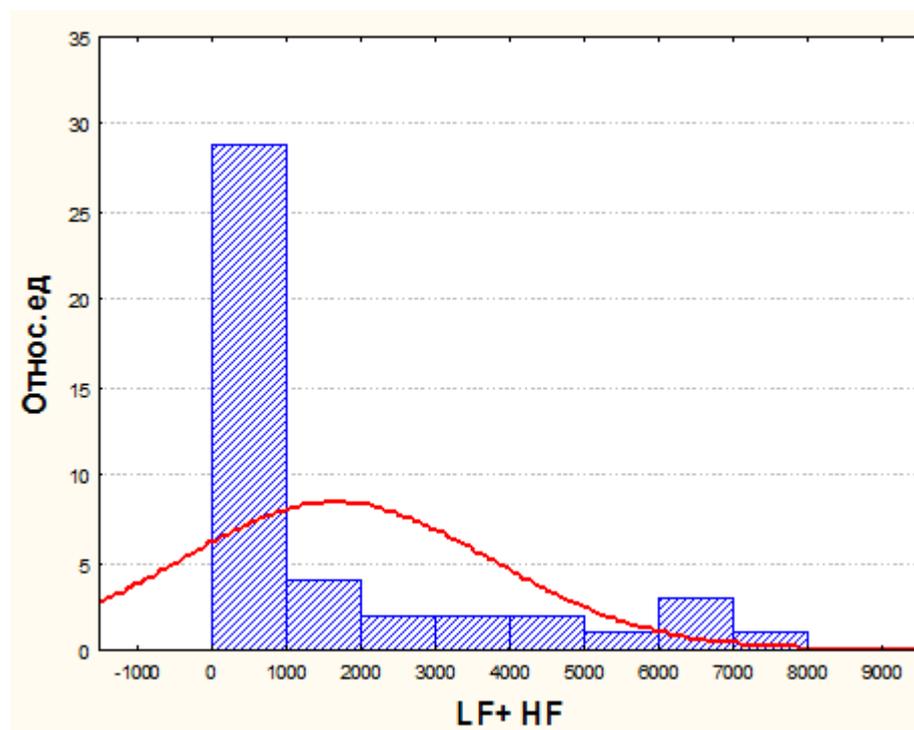


Рис. 2. Гистограмма распределения в общей возрастной группе СИВН ($LF + HF$)

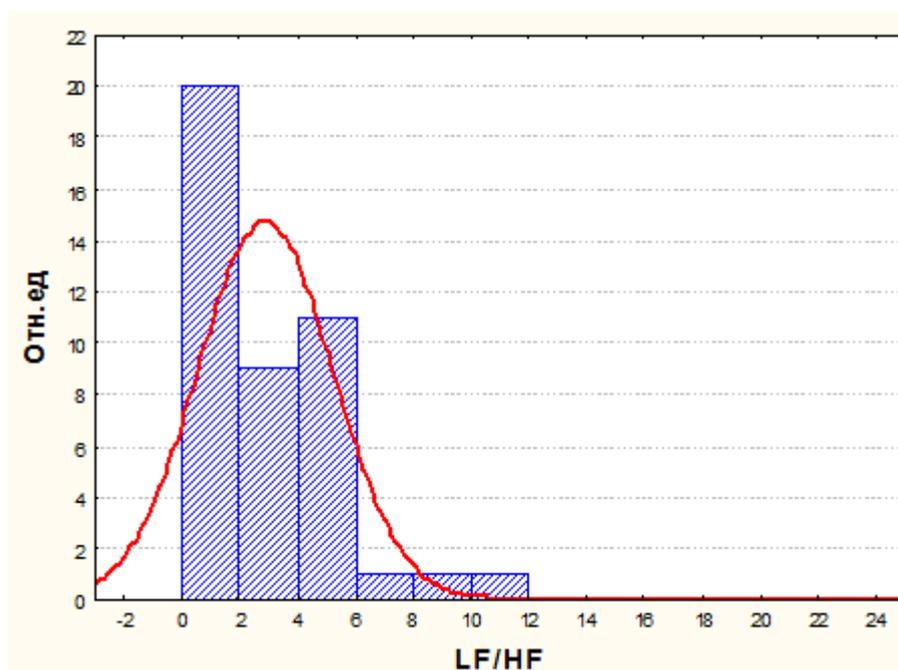


Рис. 3. Гистограмма распределения в общей возрастной группе коэффициента LF/HF

Характер корреляции между соответствующими коэффициентами представлен на рис. 4, из которого видно, что между изучаемыми коэффициентами нет достоверной корреляции, имеется лишь тенденция к отрицательной зависимости.

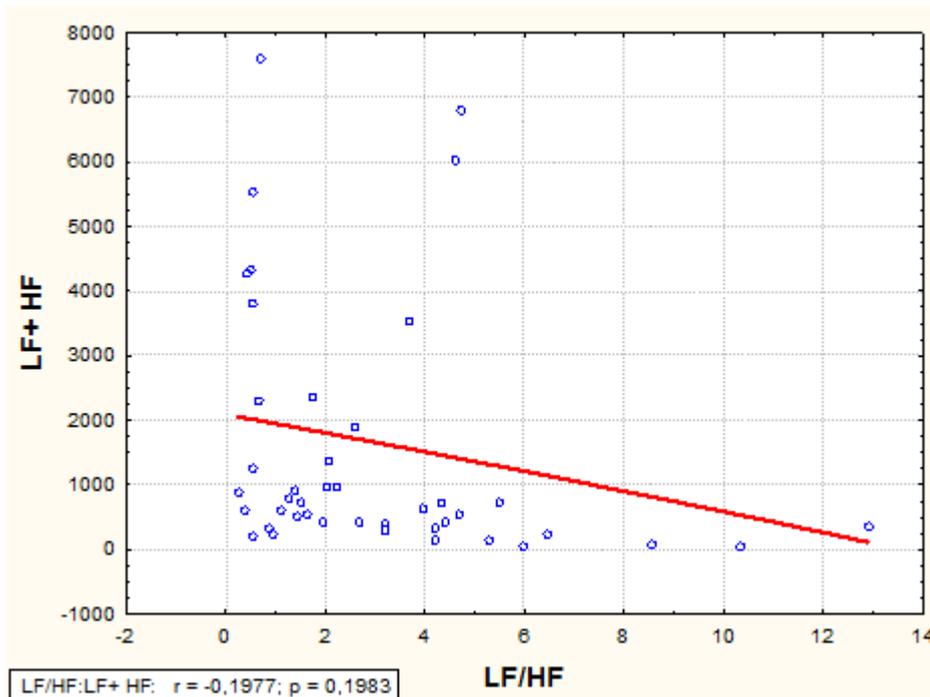


Рис. 4. Корреляция между коэффициентами СИВН (LF + HF) и LF/HF в общей группе обследованных лиц

На следующем этапе были выделены 2 группы по коэффициенту СИВН в зависимости от медианы. Если величина средней в общей группе равнялась $1695,9 \pm 314,4$, то медиана в этом случае была равна 715, что свидетельствует о ненормальном распределении этой выборки. Это и было показано на рис 2. Группа 1 была представлена лицами с условно низкой величиной неравновесности ВНС, в то время как группа 2 — с высокой. Между этими группами и коэффициентом $K1 = LF/HF$ был проведен дополнительный анализ, данные которого представлены на рис 5 и 6.

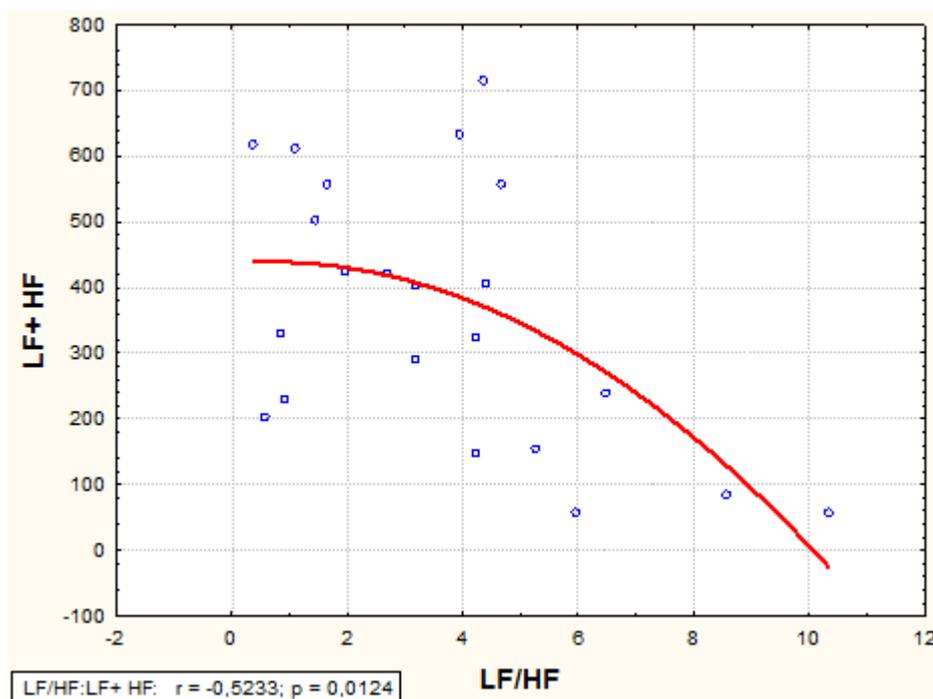


Рис. 5. Корреляция между СИВН (LF + HF) и LF/HF в группе 1 (низкий уровень неравновесности)

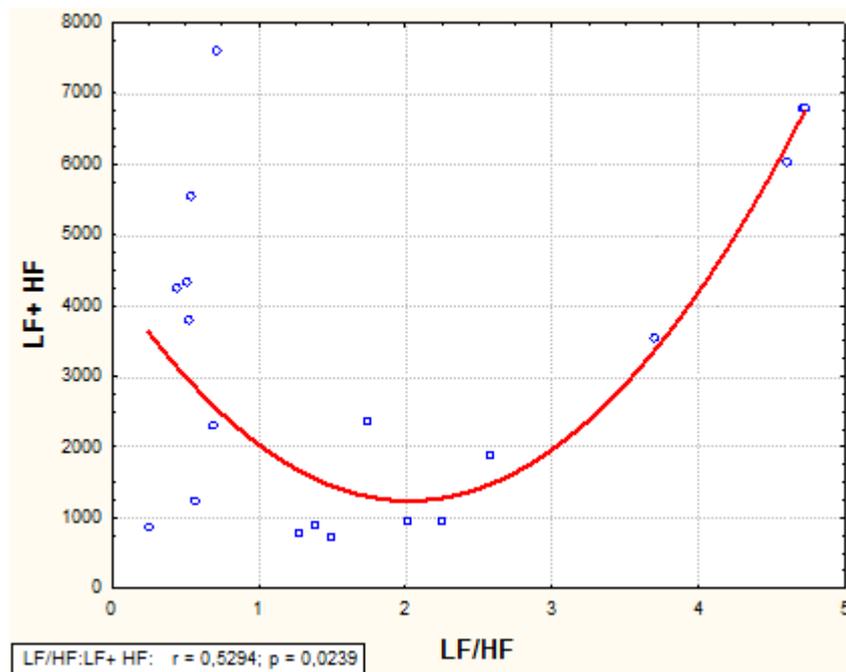


Рис. 6. Корреляция между СИВН (LF + HF) и LF/HF в группе 2 (высокий уровень неравновесности)

Обсуждение результатов. Проанализируем полученные данные более подробно. Не вызывает сомнения наличие практически отрицательной линейной зависимости между СИВН (LF + HF) и LF/HF. Действительно, если в общей группе обследованных лиц мы имеем минимальный уровень достоверности между этими показателями (коэффициент Спирмена равен 0,325 при $P < 0,05$), то в зависимости от уровня неравновесности эта зависимости приобретает иной характер, отражая специфическую структуру межсистемных и межорганых взаимодействий при участии ВНС. Из данных, представленных на рис. 5, видно, что с увеличением вклада в систему регуляции симпатического отдела ВНС (с увеличением коэффициента $K1 = LF/HF$) достоверно снижается уровень неравновесности, что в целом можно объяснить с позиции катаболического эффекта симпатического отдела ВНС и симпатико-адреналовой системы (САС) в целом. Следует обратить внимание и на тот факт, что такая закономерность носит линейный характер, отражая наличие «жестких» регуляторных контуров, формирующих замкнутый гиперцикл баланса между отделами ВНС, который ранее был нами обозначен как принцип единого ката-анаболического синтеза, функционирующего на разных уровнях неравновесности [6] биологической системы. Это положение можно проиллюстрировать на примере достаточно понятной зависимости между ТР (общая мощность спектра) и СИВН = (LF + HF). Эти закономерности показаны на рис. 7.

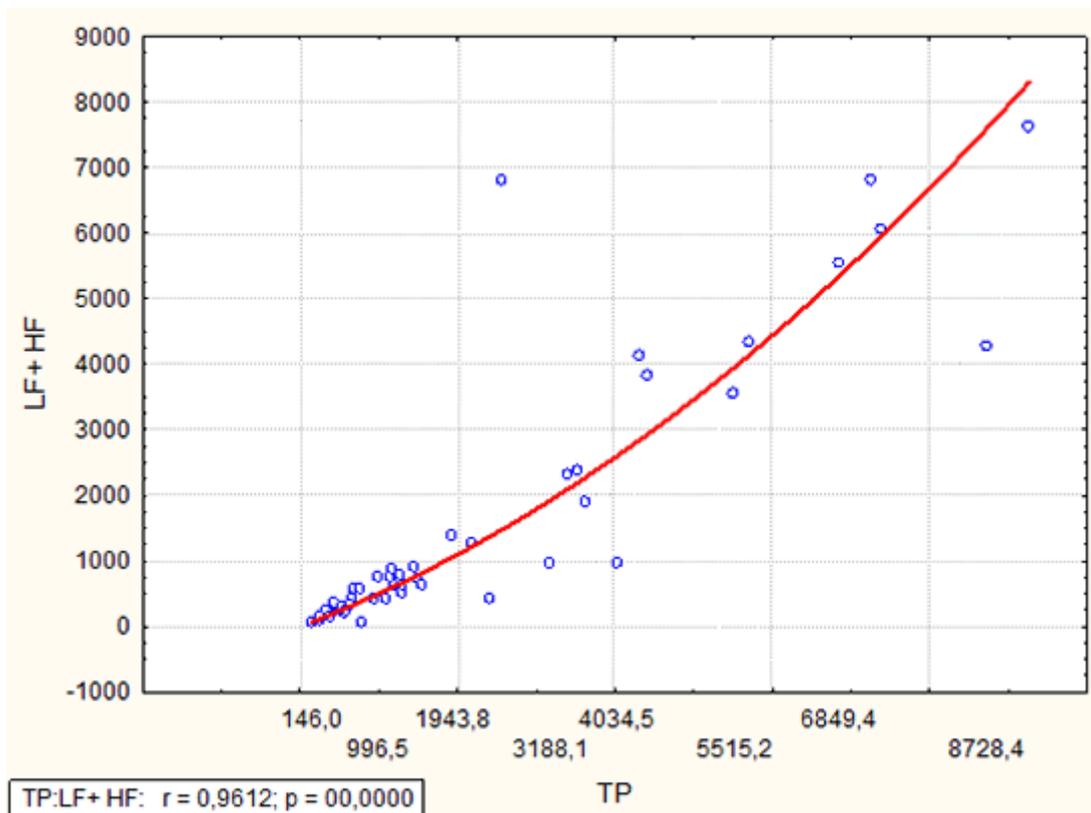


Рис. 7. Корреляция между коэффициентами СИВН (LF + HF) и TP в общей группе обследованных лиц

Как видно из данных, представленных на рис. 7, между уровнем неравновесности и TP существует практически линейная зависимость, свидетельствующая о том, что уровень неравновесности биологической системы, формируемый за счет суммарной эффективной мощности отделов ВНС и САС в целом, обеспечивает возможность выполнения индивидуумом максимума внешней работы.

Выводы. Таким образом, с позиции биотермодинамики и исследований по неравновесным системами, на что указывалось выше, следует важный вывод о том, что в зависимости от уровня неравновесности изменяется структура межсистемных отношений и их вариабельность. По существу в данном случае мы можем говорить об изменении в зависимости от уровня неравновесности состояния пространственной комплементарности [7], как уникального свойства всех неравновесных биологических систем. Подтверждением этому тезису служат данные, представленные на рис. 6. Из представленных данных достаточно наглядно видно, что между выделенными коэффициентами зависимость имеет, во-первых, нелинейный характер и, во-вторых, она положительна, т. е. с увеличением активности симпатического отдела ВНС увеличивается уровень неравновесности. Таким образом, выделение таких вариантов регуляции при активном состоянии суммарной неравновесности ВНС открывает, как нам представляется, новые возможности в отборе и прогнозировании поведения индивида в экстремальных условиях и его адаптации к средовым факторам различной модальности.

К «скрытым» процессам, наиболее полноценно отражающим динамическую структуру межсистемных взаимодействий [8], можно отнести наличие триггерных процессов в рамках той или иной регуляторной системы, которые характеризуются:

- наличием различных во временном аспекте стационарных и переходных состояний;
- наличием точек бифуркации, отражающих особенности переключения программы

- реализации того или иного регуляторного контура;
- нелинейным характером межсистемного и межорганного взаимодействия;
 - колебательным характером изменения взаимодействующих систем;
 - изменением структуры (голограммы) процессов пространственной комплементарности, как состояния, регулирующего перераспределение энергоинформационных потоков в организме в целом.

Следовательно, неравновесные системы имеют способность воспринимать различия во внешней среде и «учитывать» их в своем функционировании. Так, некоторые более слабые воздействия могут оказывать большее влияние на эволюцию системы, чем воздействия, хотя и более сильные, но не адекватные собственным тенденциям системы. Иначе говоря [9], на нелинейные системы не распространяется принцип суперпозиции: здесь возможны ситуации, когда совместные действия причин *A* и *B* вызывают эффекты, которые не имеют ничего общего с результатами воздействия *A* и *B* по отдельности.

Список литературы

1. Куликов В. Ю. Итоги и перспективы исследований биотропных свойств факторов гелиогеофизической природы / В. Ю. Куликов // Гелиогеофизические факторы и здоровье человека : материалы международного симпозиума. — Новосибирск : ООО «РИЦ», 2005. — С. 9.
2. Пригожин И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / И. Пригожин. — М. : Прогресс, 1986. — 432 с.
3. Бауэр Э. С. Теоретическая биология / Э. С. Бауэр. — М. ; Л. : Изд-во ВИЭМ, 1935. — 206 с.
4. Казначеев В. П. Космологические аспекты в биологии : живое вещество, внешняя и внутренняя среда / В. П. Казначеев // Бюл. СО АМН СССР. — 1983. — № 2. — С. 62-71.
5. Бор Н. Избранные научные труды. В 2-х т. / Н. Бор. — М., 1971.
6. Михайлов В. М. Вариабельность ритма сердца : опыт практического применения метода / В. М. Михайлов // Режим доступа : <http://neurosoft.ru/rus/product/book/hrv-2/index.aspx>
7. Куликов В. Ю. Биотермодинамика (концепция ката-анаболического синтеза) / В. Ю. Куликов // Бюл. СО РАМН. — 1996. — № 1.
8. Куликов В. Ю. Роль окислительного стресса в регуляции метаболической активности внеклеточного матрикса соединительной ткани (обзор) [Электронный ресурс] / В. Ю. Куликов // Медицина и образование в Сибири : сетевое научное издание. — 2009. — № 4. — Режим доступа : http://www.ngmu.ru/cozo/mos/article/text_full.php?id=363. — (Дата обращения : 09.02.2015).
9. Куликов В. Ю. Применение явления гистерезиса в оценке системных взаимодействий при восстановлении основных показателей внешнего дыхания после физической нагрузки [Электронный ресурс] / В. Ю. Куликов, А. В. Абрамцова, Д. И. Волобуев // Медицина и образование в Сибири : сетевое научное издание. — 2011. — № 3. — Режим доступа : http://www.ngmu.ru/cozo/mos/article/text_full.php?id=487. — (Дата обращения : 09.02.2015).

COOPERATIVE INDEX OF VEGETATIVE NON-EQUILIBRIUM AND INDIVIDUAL VARIABILITY OF CARDIAC RHYTHM AT MILITARY PERSONNEL

V. Y. Kulikov, E. A. Archibasova

SBEI HPE «Novosibirsk State Medical University of Ministry of Health» (Novosibirsk c.)

The term of Cooperative index of vegetative non-equilibrium which is the sum of LF and HF is entered for assessment of features of influence of vegetative nervous system on variability of cardiac rhythm and structure of intersystemic and interorgan relationship in norm and pathology. At inspection of 45 servicemen aged from 20 till 48 years it was shown that the offered index correlates with cooperative power of range (TS) with probability 0,96 that allows to read out perspective its applications for the analysis of wide class of physiological and clinical processes and phenomena from positions of nonequilibrium biothermodynamics.

Keywords: variability of cardiac rhythm, nonequilibrium systems, biothermodynamics, cooperative index of vegetative nonequilibrium.

About authors:

Kulikov Vyacheslav Yuryevich — doctor of medical science, professor, honored scientist of the RF, head of normal physiology chair at SBEI HPE «Novosibirsk State Medical University of Ministry of Health», office phone: 8 (383) 225-07-37, e-mail: Kulikov_42@mail.ru

Archibasova Elena Alekseevna — candidate of medical science, assistant professor of normal physiology chair at SBEI HPE «Novosibirsk State Medical University of Ministry of Health», office phone: 8 (383) 225-07-37

List of the Literature:

1. V. Y. Kulikov. Results and prospects of researches biotropic of properties of factors of heliogeophysical nature / V. Y. Kulikov // Heliogeophysical factors and health of the person: materials of the international workshop. — Novosibirsk: JSC RITs, 2005. — P. 9.
2. Prigozhin I. Order from chaos. New dialogue of the person with the nature / I. Prigozhin. — M.: Progress, 1986. — 432 P.
3. Bauer E. S. Theoretical biology / E. S. Bauer. — M.; L.: Publishing house of VIEM, 1935. — 206 P.
4. V. P. Kaznacheev. Cosmological aspects in biology: live substance, external and internal medium / V. P. Kaznacheev // Bulletin of the USSR AMS. — 1983. — № 2. — P. 62-71.
5. Bohr N. Chosen scientific works. In 2 V. / N. Bohr. — M, 1971.
6. Mikhaylov V. M. Variability of cardiac rhythm: experience of practical application of method / V. M. Mikhaylov // access mode: <http://neurosoft.ru/rus/product/book/hrv-2/index.aspx>
7. V. Y. Kulikov. Biothermodynamic (concept of kata-anabolic synthesis) / V. Y. Kulikov //

Bulletin of the RAMS. — 1996. — № 1.

8. Kulikov V. Y. Role of oxidizing stress in regulation of metabolic activity of extracellular matrix of connecting tissue (review) [electron resource] / V. Y. Kulikov // Medicine and education in Siberia: network scientific publication. — 2009. — № 4. — Access mode: http://www.ngmu.ru/cozo/mos/article/text_full.php?id=363. — (Date of the address: 09.02.2015).
9. V. Y Kulikov. Application of hysteresis phenomenon in assessment of systemic interactions at restoration of the main indicators of external respiration after exercise stress [electron resource] / V. Y. Kulikov, A. V. Abramtsova, D. I. Volobuyev // Medicine and education in Siberia: network scientific publication. — 2011. — № 3. — Access mode: http://www.ngmu.ru/cozo/mos/article/text_full.php?id=487. — (Date of the address: 09.02.2015).