

УДК 577.3

КОСМОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ КАК РЕГУЛЯТОР ИНДИВИДУАЛЬНЫХ И ПОПУЛЯЦИОННЫХ ПРОГРАММ АДАПТАЦИИ СЕРДЦА ЧЕЛОВЕКА

¹Вишневецкий В.В., ¹Сычев А.С., ²Рагульская М.В., ³Чибисов С.М.

¹*Институт проблем математических машин и систем НАН Украины,
Киев, e-mail: ramary2000@yahoo.com;*

²*Институт земного магнетизма и распространения радиоволн РАН, Троицк;*

³*Медицинский факультет РУДН, Москва*

В настоящее время проект «Гелиомед», созданный в 2003 г для изучения влияния солнечной активности и погодных факторов на динамические особенности ЭКГ человека на различных географических широтах, имеет базу данных более 50 000 измерений и одновременно проводится в гг. Москва, Киев, Якутск, Симферополь, Саратов. В мониторинговых группах постоянных обследуемых осуществляется ежедневная 4-х кратная регистрация и анализ ЭКГ в фазовом пространстве в состояниях с различной нагрузкой; а также регистрация артериального давления. Нами была зафиксирована тенденция поддержания стабильности индивидуальной программы реагирования, проявляющаяся при рассмотрении динамики совокупности состояний во всех 4-х измерениях под различными видами нагрузки. Анализ собранной базы данных позволил заметить, что в большинстве случаев во время магнитовозмущенных дней наблюдается инверсия этой традиционной для организма программы. Таким образом, автоматизированный поиск реакции сердца человека на резкие возмущения окружающей среды математически можно свести к поиску «неправильных» отклонений от индивидуальной программы, т.е. к поиску артефактов. Увеличение количества артефактов для разных географических групп пациентов, рассматривается, как групповой эффект. Предложенный метод хорошо зарекомендовал себя при решении задач автоматизации и анализа большого объема данных мониторинговых экспериментов. Безусловным преимуществом данного метода при проведении практических исследований является то, что он может работать на малых объемах данных, не чувствителен к перебоям при сборе данных, и в автоматическом режиме выявляет более 80 % групповых эффектов, связанных с резкими вариациями геофизических факторов.

Ключевые слова: телемедицинский мониторинг, нормальные и патологические программы адаптации, информационные технологии

COSMO-PHYSICAL FACTORS AS REGULATOR OF INDIVIDUAL AND POPULATION ADAPTATION PROGRAMS OF HUMAN HEART

¹Vishnevskiy V.V., ¹Sychev A.S., ²Ragulskaya M.V., ³Chibisov S.M.

¹*Institute of Mathematical Machines and Systems of National Academy of Sciences of Ukraine,
Kiev, ramary2000@yahoo.com;*

²*Institute of Earth Magnetism and Radio Wave Propagation, Troitsk, Moscow;*

³*Faculty of Medicine of People's Friendship University, Moscow*

The HelioMed Project launched in 2003 to investigate the impact of solar activity and weather conditions on dynamic parameters of human ECG measured at different geographic latitudes, currently has the database of more than 50 000 measurements that have been simultaneously taken in Kiev, Moscow, Yakutsk, Simferopol, and Saratov. The constant members of monitored groups were exposed to fourfold ECG registration and analysis in phase space under different loads, as well as arterial pressure registration. We have recorded the tendency to sustain the stability of individual reaction program that becomes apparent while examining the dynamics of states complex over all four measurements under different loads. Analyzing the collected data base let us find out that in most cases during magnetic disturbance, the inversion of the traditional to human organism program can be observed. Thus the automatic determination of human heart reaction to significant ambient disturbances mathematically could be reduced to determination of «wrong» deviations from individual program, i.e. artifacts detecting. Increase in number of artifacts among different geophysical groups of patients is considered to be a group effect. Introduced method has showed good results at automation problems solving and analyzing of huge volumes of monitoring experiments data. The obvious advantage of the method in empirical research is its possibility to work with small amount of data; it is insensitive to irregularities of data acquisition; in automatic mode it reveals over 80 % of group effects associated with abrupt changes of geophysical factors.

Keywords: telecommunication monitoring, programs of adaptation, data manning technology

Телекоммуникационные мониторинги – новые возможности и новые проблемы. К настоящему моменту изучение влияния факторов естественной внешней среды на организм человека прошло 3 основных этапа своего развития и находится в становлении 4-го. Возникновение и развитие каждого из этапов определялось либо появлением принципиально новой научной

парадигмы, либо появлением принципиально новых технологических методов исследования. На каждом этапе формировалось свое понимание технологий адаптации организма человека к факторам окружающей среды, напрямую зависящее от физических основ и математических методов обработки экспериментальных данных [1–7]. Повышение объективности и углу-

бление понимания происходящих в биосистемах процессов, а также увеличение соотношения сигнал/шум, для биомедицинских экспериментов возможно путем введения дополнительных системных координат, а именно: временной (проведение длительного мониторинга на группе обследуемых постоянного состава) и пространственной (создание распределенной по поверхности земного шара телекоммуникационной сети съема первоначальной информации) [8]. До сих пор все эксперименты, проводимые для решения задач гелиобиологии, неизменно наталкивались на возражения скептиков, что при регистрации слабых откликов на слабые воздействия неизменно встает вопрос о влиянии личности экспериментатора на процесс получения, отбора и обработки данных. Телекоммуникационные технологии позволяют разделить в пространстве процесс получения медицинских данных с одномоментной отправкой их в удаленный центр обработки (без возможности вмешательства экспериментатора в этот процесс) и ввести автоматическую функцию внешнего аудита экспериментальных данных на всех этапах получения и обработки информации. С другой стороны, телекоммуникационные разноширотные мониторинги, производимые на едином оборудовании и по единому протоколу одновременно в различных географических точках, позволяют разнести в пространстве и времени изучение биотропного влияния локальных и глобальных факторов внешней среды, таких как атмосферное давление, температура, длина светового дня, уровень инсоляции (локальные факторы) и параметры космической погоды, вариации геомагнитного поля земли и космических лучей (общепланетарные факторы). С другой стороны, встает вопрос о поиске новых математических методик обработки такого крупного массива данных и способах автоматизации процесса обработки.

Материалы и методы исследования

Телекоммуникационный гелиомедицинский мониторинг «Гелиомед» 2003-2010 гг. На сегодняшний день авторам известно о единственном реально работающем подобном масштабном научном мониторинге – совместном российско-украинском телекоммуникационным разноширотном проекте «Гелиомед». Мониторинг начинался в 2003 году одновременно в Москве и Киеве, как проект по изучению влияния солнечной активности и погодных факторов на динамические особенности ЭКГ человека на различных географических широтах. В мониторинговых группах постоянных обследуемых проводились ежедневная 4-х кратная регистрация и анализ ЭКГ в фазовом пространстве в состояниях покоя, после стандартизованного психотеста, пробы Руфье и после 10 мин отдыха от нагрузки; а также регистрация артериального давления в перечислен-

ных состояниях. Полученные медицинские данные в автоматическом режиме собираются из всех городов-участников на единой он-лайн базе данных, и сопоставляются с динамикой космогеофизических и погодных факторов. Подробное описание методики сбора и обработки данных, а также первичные результаты мониторинга за 2003–2010 гг. приведены в [8, 9]. В настоящее время к одновременным измерениям в Москве и Киеве примкнули города Якутск, Симферополь и Саратов.

Все измерения проводятся на едином оборудовании и по единому протоколу исследований. Общая схема проекта разрослась до представленной на рис. 1 совокупности блоков медицинских, психологических, микробиологических, космогеофизических и климатических баз данных. В базе данных присутствует более 50 000 измерений ЭКГ.

Результаты исследований и их обсуждение

Особенности общепопуляционных и индивидуальных технологий адаптационной варибельности сердечной деятельности. Первоначально обработка массива данных «Гелиомед» осуществлялась в двух традиционных математических направлениях – поиск статистически значимых корреляций между индивидуальными, групповыми и общепопуляционными вариациями медицинских данных и данных о вариациях окружающей среды, а также теоретическое математическое моделирование нелинейной индивидуальной динамики сердца под воздействием периодической внешней силы и параметрических шумов. Рассмотрим подробнее результаты этих исследований.

1. Поиск одновременных групповых эффектов по различным городам, где в качестве изучаемого параметра брались усредненные по локальной исследовательской группе градиенты ежедневных значений одного из типов измерений ЭКГ (например – коэффициента симметрии Т-зубца или количества нетипичных циклов в состоянии после физической нагрузки).

Дальнейшее статистическое сравнение наблюдаемых коллективных отклонений с параметрами внешней среды показало наличие одновременных (в пределах суток) выбросов усредненных физиологических параметров во всех городах-участниках мониторинга при резких вариациях космогеофизических факторов [8–9]. Коллективная реакция регистрируется за 2–3 суток до массовых обращений населения в пункты скорой помощи и отделения реанимации по поводу обострения сердечно-сосудистых заболеваний. Наблюдаемый эффект отражает общепопуляционную адаптационную технологию подстройки биологических ритмов под космогеофизические возмущения, а также технологию подстройки ритмов индивидуумов друг под друга.

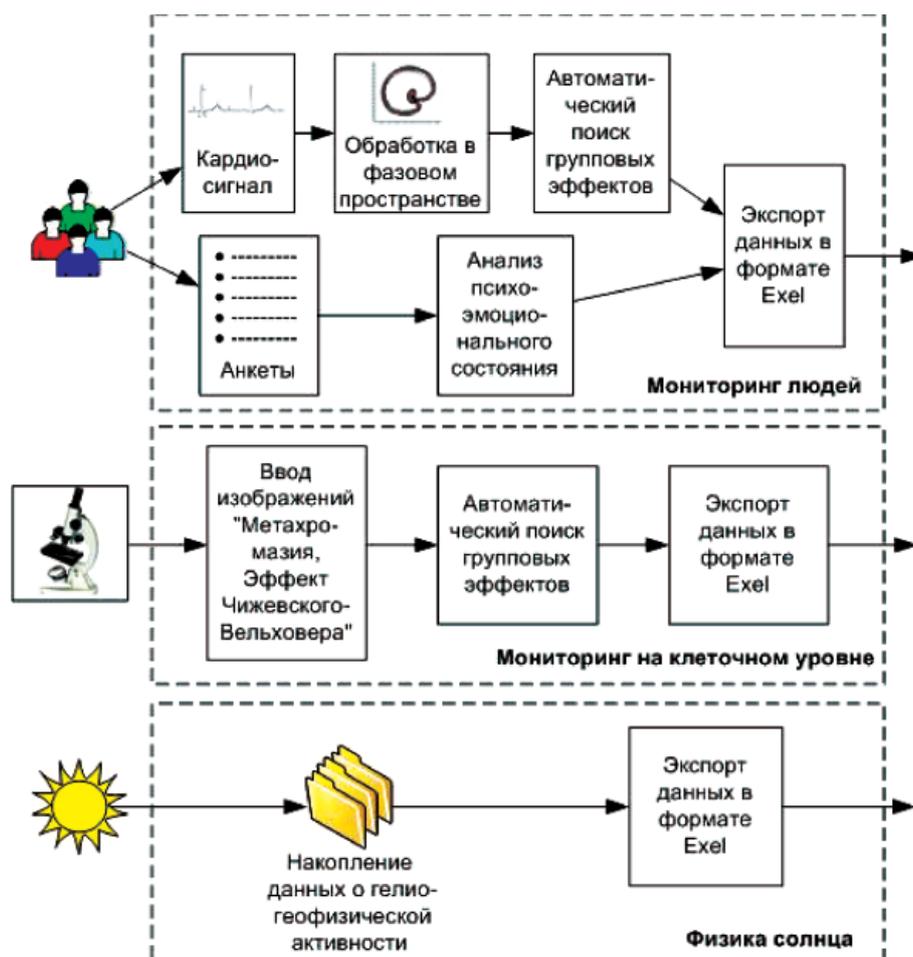


Рис. 1. Схема телемедицинского проекта «Гелиомед», 2010 г. Представлены блоки он-лайн регистрации медицинских, психологических данных, данных динамики поведения эталонных клеточных структур, а также блоки регистрации параметров внешней среды

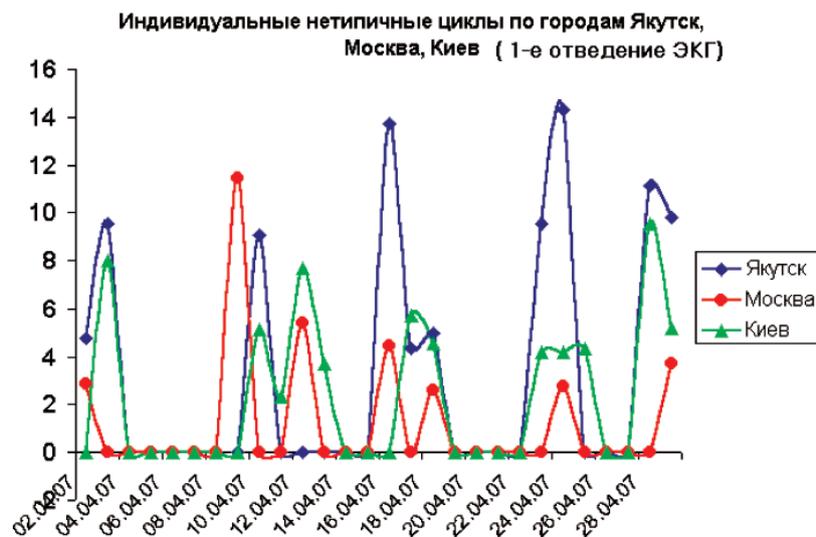


Рис. 2. Одновременное появление экстрасистол в группах здоровых постоянных добровольцев в различных городах. По оси абсцисс – дата, по оси ординат – совокупное число нетипичных циклов по каждой группе участников

При переходе на более длительные интервалы времени в мониторинге выявлено выраженное наличие полугодовых волн изменения степени внутренней связанности организма с максимумами в осенне-весенний период и минимумами в летне-осенний. Высоким считался коэффициент самокорреляции $R > 0,7$, низким – коэффициент самокорреляции $R < 0,55$, измерения проводились ежедневно с 1998 по 2010 г. у постоянной группы обследуемых в 31 человек на широте г. Москва. Найденная сезонная закономерность сохраняется в индивидуальных данных как в максимуме цикла солнечной активности в 2000–2002 гг., так и в период 11-летнего солнечного цикла, близкий к минимуму (2006–2008 гг.).

Еще одной из пространственно-временных закономерностей реакции организма, как единого целого, на долговременные вариации внешней среды является существование положительного тренда средней амплитуды индивидуальной реакции обследуемых по годам в направлении от минимума 11-летнего цикла солнечной активности. И обратное – при рассмотрении годовых зависимостей наблюдается понижение средней амплитуды физиологических параметров от максимума к минимуму солнечной активности.

2. Нелинейная модель динамики сердца, как точечного источника сигнала под внешним воздействием. Нами было проведено изучение динамики индивидуальных ЭКГ путем сравнения состояния одного и того же обследуемого под различными типами внешней нагрузки и дальнейшее теоретическое моделирование процессов адаптации сердца человека к слабым внешним воздействиям. Аналитическое изучение экспериментальной базы данных показало наличие не менее 2–3 квазистабильных уровней функционирования сердца. Численное моделирование и реконструкция данных индивидуальных мониторингов в проекте «Гелиомед» подтвердили, что без внешней нагрузки в соотношении 8:2 в фазовом пространстве наблюдается не монопортрет кардиоциклов, а суперпозиция нескольких топологически различных фазовых состояний – основного, более упорядоченного, и возбужденных, более хаотических. Причем это соотношение изменяется для различных типов нагрузки. Так, при введении дополнительной физической нагрузки 20 приседаний за 30 секунд исследуемая биосистема переходила в основное моно-состояние. А при воздействии одиночной магнитной бури наблюдался обратный эффект – число более хаотических состояний в фазовом пространстве увеличивалось. Такая ситу-

ация ранее в литературе не описывалась, а потому требовала адекватного объяснения. Теоретическая модель данного нелинейного явления разработана В.В. Пипиным. В [10] предложена новая динамическая модель с двумя управляющими физическими параметрами: мощности генерации сигнала и коэффициента диффузионного рассеяния сигнала. Показано, что для всей совокупности параметров исследуемая модельная нелинейная система демонстрирует набор нескольких режимов, от установившихся периодических и квазипериодических состояний до хаоса. Также выявлено существование нижнего и верхнего порога параметрической генерации. В работе показано, что *индивидуальная адаптационная технология организма под воздействием слабых внешних факторов состоит не в триггерном перескоке из состояния в состояние*, как считалось до сих пор, *а в плавном увеличении вероятностной доли адаптационно предпочтительного состояния.*

Индивидуальные технологии поддержания стабильности работы сердца. Однако наряду с этими двумя технологиями адаптации сердца человека к различным вариациям внешней среды нами была зафиксирована тенденция поддержания стабильности индивидуальной программы реагирования, проявляющаяся при рассмотрении динамики совокупности состояний во всех 4-х измерениях под различными видами нагрузки. Ее анализ потребовал разработки еще одного математического подхода. Если рассматривать ежедневную совокупность всех 4-х измерений под разными видами нагрузки для конкретного обследуемого, то для большинства членов группы можно заметить стабильность соотношений амплитуд всех 4-х сигналов, т.е. существует выраженная индивидуальная траектория реагирования организма на стационарную нагрузку, по-видимому связанная с индивидуальными особенностями поддержания гомеостаза. Разумеется, у различных обследуемых закономерность реагирования будет разной (более того, в небольшом количестве случаев возможно сочетание двух характерных траекторий или наоборот – их отсутствие). Однако для данного конкретного человека наблюдается выраженная тенденция к сохранению индивидуальной программы реагирования. Один из примеров такой индивидуальной траектории изображен серым цветом на рис. 3. Анализ собранной базы данных позволил заметить, что в большинстве случаев во время магнитовозмущенных дней наблюдается резкое изменение формы этой традиционной для организма программы (черные линии

на рис. 3). Таким образом, автоматизированный поиск реакции сердца человека на резкие возмущения окружающей среды математически можно свести к поиску «неправильных» отклонений от индивидуальной программы, т.е. к поиску артефактов. Дни, когда пациент имеет характеристики кардиосигналов (ХКС), которые достаточно сильно отличаются от типичных для него, в дальнейшем и будем называть артефактами. Увеличение количества артефактов для разных групп пациентов, находящихся достаточно далеко друг от друга территориально, будем называть групповым эффектом.

$$(\sum_{j=1, j \neq i}^N (R(V_i, V_j) > B)) \leq (K \cdot N) \Rightarrow V_i = \text{артефакт},$$

где N – общее количество дней, для которых имеются данные для выбранного пациента; V_i – i -я траектория; $R(V_i, V_j)$ – функция корреляции; B – порог схожести, если значение функции корреляции между двумя траекториями превышает данный порог, то считаются, что они имеют близкую форму; K – порог группы, если тестируемый вектор имеет количество векторов, на которое он похож меньше заданного порога, то считается, что заданная траектория является артефактом. Проведенные на реальных данных (2006–2009) эксперименты позволили вычислить оптимальные значения параметров $B = 0,8$ и $K = 0,1$.

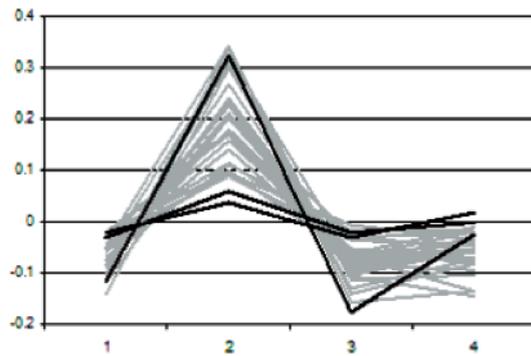


Рис. 3. Коэффициент симметрии T-зубца одного из обследуемых в различных состояниях нагрузки, ежедневные измерения 05.10. 2009–29.11.2011. По оси абсцисс: 1 – исходное состояние покоя, 2 – после психотеста, 3 – после пробы Руфье, 4 – после 10 минут отдыха

Определив таким образом артефакты для всех пациентов группы, мы можем вычислить вероятность группового эффекта в конкретный день:

$$P_i^{group} = \frac{R_i}{n_i},$$

где P_i^{group} – вероятность группового эффекта; n – количество пациентов, принявших

Автоматизированное обнаружение групповых эффектов путем анализа артефактов кардиосигналов у различных групп пациентов (по форме траектории 4-х измерений)

Для анализа формы сигнала мы использовали стандартную функцию корреляции между двумя векторами. Основная идея метода в том, чтобы найти такие дни, когда форма ХКС для данного пациента не похожа на форму ХКС в остальные дни, т.е. если форма текущей траектории сигнала имеет небольшое количество траекторий, похожих на нее, то данная траектория является артефактом.

участие в эксперименте в данный день; R – количество артефактов; i – номер дня.

Предложенный метод хорошо зарекомендовал себя при решении задач автоматизации и анализа большого объема данных мониторинговых экспериментов. К недостаткам предложенного метода можно отнести наличие двух коэффициентов, вычисленных на основании исторических данных. При изменении размеров выборки возможно, они будут нуждаться в корректировке на вновь полученных данных. Наличие пороговых операций делает данный метод более грубым при оценке вероятности групповых эффектов. Однако безусловным преимуществом данного метода при проведении практических исследований является то, что он может работать на малых объемах данных и не чувствителен к перебоям при сборе данных.

Поиск артефактов деятельности сердца с учетом долгосрочных тенденций. Как мы говорили ранее, кардиосигналы имеют тенденцию к изменению амплитуды. Это может быть результатом лечения больного, иметь сезонный характер или иметь другие причины. Для выявления данных тенденций мы использовали фильтр, который состоит из двух стандартных алгоритмов Median filter и MovingAverage. Пример результатов данной фильтрации представлен на рис. 4.

Теперь мы можем представить исходный сигнал, как сумму трендовой составляющей и отклонения от трендовой составляющей:

$$Y_{ik} = Y_{ik}^{base} + Y_{ik}^{inc},$$

где Y_{ik} – входной сигнал; Y_{ik}^{base} – трендовая составляющая; Y_{ik}^{inc} – отклонение; i – номер дня; k – номер кардиосигнала.

Поскольку на трендовую составляющую не влияют короткосрочные факторы, мы можем трактовать ее как типичное (эн-

догенно-обусловленное) состояние пациента в конкретный день. На Y_{ik}^{inc} наоборот влияют преимущественно короткосрочные

экзогенные факторы (например, резкие вариации космической погоды или геомагнитного поля).

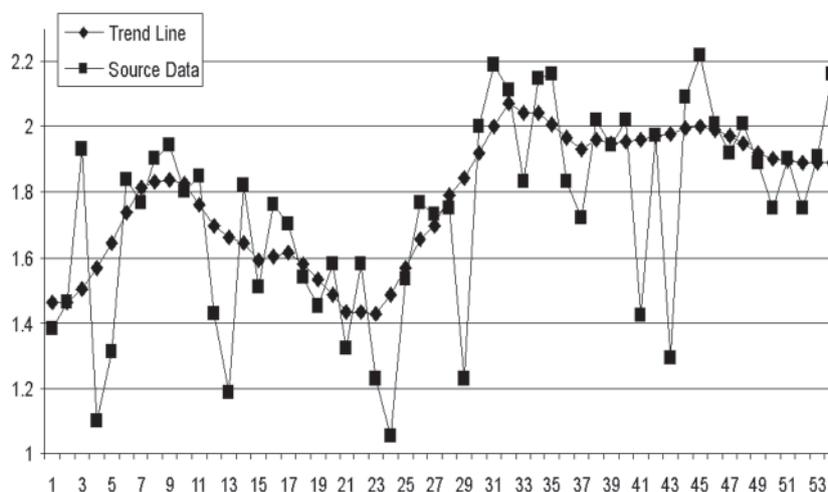


Рис. 4. Сигнал и результат фильтрации

Анализ Y_{ik}^{inc} показал, что он имеет математическое ожидание, близкое к 0, и распределение, близкое к нормальному. Однако для части пациентов Y_{ik}^{inc} не удовлетворяет критерию χ^2 с коэффициентом значимости 0,05 при проверке на принадлежность исследуемого распределения к нормальному. При анализе причин было установлено, что в некоторых случаях значение Y_{ik}^{inc} сильно возрастает, почти на порядок по сравнению с обычным, по непонятным причинам. Количество таких отклонений для одного пациента в наших случаях не превышает 2. Учитывая малый размер выборки, такие выбросы сильно смещают математическое ожидание. Хотя причина таких отклонений остается неясной. Для нашей работы существенным является то, что все такие выбросы однозначно можно классифицировать как аномальное состояние с 100%-й вероятностью и исключить из дальнейшего анализа. Для определения нетипичных отклонений Y_{ik}^{inc} мы пользовались следующим условием: $|Y_{ik}^{inc}| > 3|Y_{ik}^{inc}|$. После удаления таких ситуаций из исходных данных Y_{ik}^{inc} для всех пациентов удовлетворяют критерию χ^2 с коэффициентом значимости 0,05.

Используя значения Y_{ik}^{inc} для всех 4 КС, можно вычислить суммарное отклонение текущего состояния больного от типичного Y_{ik}^{inc} . Для этого можно воспользоваться Евклидовым расстоянием.

$$Y_i^{inc} = \sqrt{\sum_{k=1}^4 (Y_{ik}^{inc})^2}.$$

Если Y_i^{inc} , равно 0, это означает, что текущее состояние больного совпадает с ти-

пичным, т.е. вероятность артефакта близка к 0. Даже если в данный момент присутствует групповой эффект, пациент на это не отреагировал.

Вычислив дисперсию Y_{ik}^{inc} можно вычислить вероятность артефакта для пациента:

$$P_i = 2 \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{Y_i^{inc}} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right) dt,$$

где P_i – вероятность артефакта; σ^2 – дисперсия, вычисленная по формуле:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i^{inc})^2,$$

где N – общее количество дней, для которых имеются данные для выбранного пациента. Вычислив вероятность артефактов для каждого из пациентов P_p можно вычислить вероятность группового эффекта:

$$P_i^{group} = \frac{1}{n} \sum_{d=1}^n P_{id},$$

где P_i^{group} – вероятность группового эффекта; n – количество пациентов, принявших участие в эксперименте в данный день; d – номер пациента; i – номер дня.

На рис. 5 представлена вероятность группового эффекта, полученная данным методом в мониторинге «Гелиомед» 2009 года. Метод, учитывающий долгосрочные тенденции, дает более качественные результаты при больших объемах данных, которые не имеют существенных разрывов (т.е. участники эксперимента регулярно проходили обследование, что, к сожалению, не всегда достижимо на практике) и немотивированных выбросов. Также достоинством данного метода является то, что он

дает возможность анализировать несколько видов артефактов: нетипичные отклонения Y_{ik}^{inc} , вероятность артефакта на основании типичных значений Y_{ik}^{inc} , резкое изменение трендовой линии, что тоже может считаться артефактом. В то же время достоинством метода 1 является возможность анализа групповых эффектов на непостоянной группе мониторинга, важно лишь, чтобы для любого участника мониторинга было накоплено достаточное количество измерений

для статистически достоверного вычисления средней траектории. Проведенное сравнение показало, что в 78,4% случаев знак отклонения совпадает в обоих предложенных методах, поэтому при анализе мониторинговых данных исследователю каждый раз придется выбирать между грубой, но точной оценкой «внеплановых» событий, или приближенным, но более структурированным изучением долгосрочных тенденций развития системы.

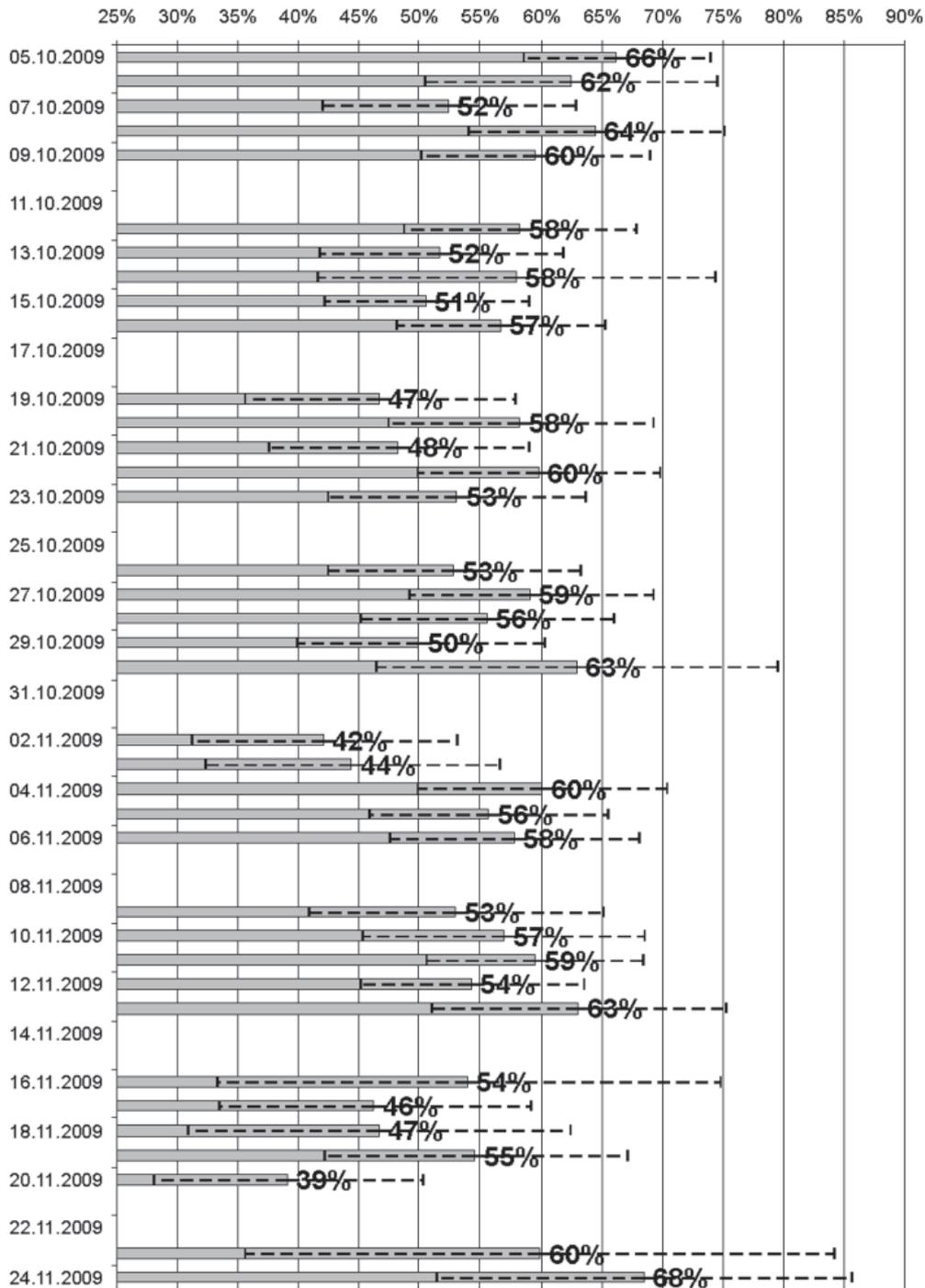


Рис. 5. Вероятность группового эффекта, вычисленная с учетом долгосрочных тенденций

Таким образом, оба метода имеют свои достоинства и границы применимости, а результат анализа большого объема экспериментальных мониторинговых данных будет зависеть от изначально выбранной конечной цели и математического метода исследований. Разработанную методику компьютерного анализа большого объема медицинских данных предполагается использовать при проведении массовых скринингов здоровья населения.

Заключение

Проведенные авторами одновременно в различных городах мониторинговые исследования адаптационных технологий сердечно-сосудистой системы здоровых людей показали, что организм человека ведет себя, как существенно нелинейная динамическая система. Существует целая совокупность эволюционно отобранных программ реагирования на резкие вариации факторов внешней среды: на клеточном уровне, уровне отдельных систем, уровне переструктурирования программ поведения организма в целом, а также на уровне общепопуляционного подстроеного взаимодействия между организмами.

На индивидуальном уровне сердце осуществляет несколько разнoverоятностных режимов генерации, от установившихся периодических и квазипериодических состояний до хаоса, ограниченных нижним и верхним порогом параметрической генерации. Удельный вес каждого из состояний плавно меняется под действием вынуждающей внешней силы. Наличие в системе параметрических шумов способствует ее стабилизации. Описание такой системы более соответствует законам квантовой, а не обычной динамики. Организм в целом обладает зафиксированной индивидуальной программой реагирования на различные виды внешней нагрузки, энергозатратное поддержание которой обеспечивает его устойчивость, как единой системы.

В мониторинге воспроизводимо и достоверно регистрируется подстройка ритмов индивидуумов друг под друга внутри выделенной группы обследуемых, а также

общепопуляционная адаптационная технология подстройки биологических ритмов под космогеофизические возмущения, одновременно наблюдаемые в географических пунктах на расстоянии более 6000 км. На основании вышеперечисленных результатов разработана автоматизированная методика обработки больших массивов данных для проведения массовых скрининговых обследований состояния здоровья населения.

Работа поддержана Грантом РФФИ 09-02-90471-Укр_ф_а и грантом ГФФИ Украины Ф28/02-030.

Список литературы

1. Владимирский Б.В., Темурьянц Н.А., Мартынюк В.С. Космическая погода и наша жизнь // Век-2. – Фрязино, 2004.
2. Чижевский А.Л. Физические факторы исторического процесса. – Калуга, 1924.
3. Чижевский А.Л. Эпидемиологические катастрофы и периодическая деятельность Солнца. – М., 1930.
4. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего // УРСС. – М., 2003. – 283 с.
5. Трубецков Д.И. Введение в синергетику. Хаос и структуры // УРСС. – М., 2004.
6. Чернавский Д.С. Синергетика и теория информации // УРСС. – М., 2004. – 285 с.
7. Аксенов С.И. Вода и ее роль в регуляции биологических процессов. – М., 2004.
8. Вишневский В.В., Рагульская М.В., Самсонов С.Н. Телекоммуникационные технологии в выявлении закономерностей функционирования живых систем // Технологии живых систем. – 2007. – №4.
9. Вишневский В.В., Рагульская М.В., Чибисов С.М. Телекоммуникационное мониторирование как метод изучения влияния гелиогеомагнитных флюктуаций на функцию сердца // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины – 2008. – Т. 145, №6. – С. 714–718.
10. Пипин В.В., Рагульская М.В., Чибисов С.М. Анализ динамических моделей и реконструкций ЭКГ при воздействии космо- и геофизических факторов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2009. – №5. – С. 17–23.

Рецензенты:

Радыш И.В., д.м.н., профессор Российского университета дружбы народов (РУДН), г. Москва;

Иванов-Холодный Г.С., д.ф.-м.н., Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН, г. Троицк.