

## НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ ГОМЕОКИНЕЗА

© Сараев И.А., Довгаль В.М.

Кафедра внутренних болезней № 2 Курского государственного медицинского университета;  
Центрально-Черноземный научный центр РАМН

В работе обсуждается концепция нового подхода к диагностике состояний организма в норме и патологии, основывающаяся на качественном и количественном анализе процесса адаптации, проявляющего себя в искомым особенностях системного гомеокинеза. Системное регулирование описывается на интегральном уровне в виде динамической энтропийно-информационной математической модели с привлечением методов системного синтеза и средств исследования нелинейных хаотических процессов. Установлено, что динамика энтропии кардиоритма, используемой для построения интегральной модели гомеокинеза, является детерминированно-хаотическим феноменом. Определено новое свойство фазовой траектории этого параметра в пространстве состояний системы – неравномерное расположение точек, специфика которого позволяет описать особенности гомеокинетических реакций, свойственных различным состояниям организма. Показано, что при стрессорных воздействиях наблюдается феномен структурирования фазового пространства системы, появление в проекции ее математического образа – странного аттрактора, вторичных образований – субаттракторов, которые интерпретируются как маркеры активации регуляторных реакций.

**Ключевые слова:** диагностика, адаптация, гомеокинез, энтропия кардиоритма, детерминированный хаос, странный аттрактор.

## NEW OPPORTUNITIES IN DIAGNOSTICS ON THE BASIS OF HOMEOKINESIS NON-LINEAR CHARACTERISTICS ANALYSIS

*Saraev I.A., Dovgal' V.M.*

**Department of Internal Diseases № 2 of the Kursk State Medical University;  
the Black-Earth Research Centre of the Russian Academy of Medical Sciences**

The article presents new conception of organism diagnostics in normal and pathological conditions. The approach is based on quality and quantity adaptation process characteristics analysis to find systemic homeokinesis peculiarities estimated as issued diagnostic pattern. Systemic synthesis ideology and non-linear dynamics methods are used for description of integral regulation presented as information entropy mathematical model. It is confirmed that cardiac rhythm entropy shifts in time are chaotic in nature. Irregular localization of entropy phase trajectory points in multidimensional space of system existence is revealed as a new phenomenon, specific character of which is important for homeokinesis analysis enabling to diagnose different organism conditions. It is shown that organism state destabilization due to stress factors influences is the cause of system phase space structural disarrangement development. This effect is seen in mathematical projection of system, that is the so called strange attractor, when secondary stress-dependent structures (subattractors) are appeared as regulatory reactions activation makers.

**Key words:** diagnostics, adaptation, homeokinesis, cardiac rhythm entropy, deterministic chaos, strange attractor.

Сложившийся в современной медико-биологической науке традиционный подход к исследованию различных состояний организма в норме и патологии основывается на анализе набора соответствующих им хорошо очерченных отдельных симптомов. Вместе с тем общепризнано и то обстоятельство, что функционирующий организм человека является целостной системой, изменения в кото-

рой происходят интегрально, а сам объект в результате приобретает новые качества. Парадокс состоит в том, что процесс научного познания, декларируя системный подход, как показывает практика, все еще недостаточно активно использует его возможности. При этом диагностика в известной степени сохраняет черты искусства, когда процесс распознавания и трактовки необходимого для при-

нятия решения паттерна признаков зависит от персональных аналитических способностей и опыта врача или биолога-исследователя. Попытки снизить значимость субъективного фактора в теоретических исследованиях и реальной медицинской деятельности, как правило, сводятся к созданию современных, все более чувствительных, а поэтому технологически сложных и дорогостоящих методов лабораторной и инструментальной диагностики. Вместе с тем рост затрат на модернизацию информационного обеспечения диагностического процесса в проекции на конечный результат, например летальность, инвалидизацию или число врачебных ошибок, указывает на весьма негативную тенденцию. Одним из факторов, определяющим спад показателя "качество диагностики/затраты", является неизменность доминирующей в медико-биологических исследованиях парадигмы. В ее основе заложен все тот же традиционный, хотя несколько техногенно завуалированный в современных условиях, метод проб и ошибок. Он по-прежнему направлен на выявление отдельных симптомов различных состояний организма в норме и патологии, которые в свою очередь не всегда бывают достаточно объективно проявившимися или представляются ограниченно информативными вследствие невысокой специфичности. В лучшем случае найденные признаки подвергаются вторичному анализу, имеющему в той или иной степени системный характер, в то время как вопросы системного синтеза остаются редким явлением в рутинных биологических исследованиях и в особенности - в практической врачебной деятельности.

Таким образом, в сложившихся условиях все более явно проявляются признаки снижения эффективности доминирующей аналитической концепции исследований при дефиците альтернатив, имеющих конкретные преимущества. Отсутствие назревших результатов и малозатратных решений многих медико-биологических проблем указывает на необходимость дальнейшего совершенствования методологических подходов в сфере диагностики, что также требует создания соответствующих им инструментальных средств нового поколения. Стратегической

целью этих усилий является формирование новой альтернативной парадигмы анализа закономерностей нормы и патологии. В ее основе лежит построение адекватных интегральных статических и динамических моделей человеческого организма в рамках междисциплинарного подхода с использованием идеологии общей теории систем (в том числе, в части системного синтеза), теории функциональных систем и современных достижений математики в области нелинейной динамики.

#### **Концепция диагностики состояний организма на основе методологии системного синтеза.**

В основе обсуждаемой методологии лежит признание того факта, что перестройка функционирования в рамках приспособительных сдвигов, учитывая адресность ее направленности, с высокой степенью вероятности имеет качественную специфику. Она определяется неравномерностью во времени подключения к процессу регулирования необходимого, хотя и ограниченного видовыми признаками числа компенсаторных механизмов, которые к тому же в каждый текущий момент варьируют в своих сочетаниях.

Попытки использования достижений гомеостатики для решения медико-биологических проблем имеют более чем полувековую историю. Все они так или иначе связаны с проблемой построения адекватной модели процесса поддержания постоянства внутренней среды. Еще начиная с работ У. Росс Эшби или Хопфилда, сформировалось представление о том, что в рамках поиска динамического равновесия в реальных условиях организм использует конечное число механизмов, осуществляющих текущие реакции при минимально достаточных затратах энергии и вещества [9]. Это означает, что устойчивость в данном контексте предполагает эффект достижения минимума некой функции от многих аргументов. Во временном аспекте подобный процесс, как правило, описывается с привлечением методов биоритмологии в ее классическом понимании, предполагающем использование определенных математических инструментов, таких как вариационная статистика, спектральный анализ, сглаживание про-

цессов и их аппроксимация и т.д. [4].

Вместе с тем такой подход оставляет открытыми ряд существенных вопросов. При построении моделей практически невозможно оценить число упоминавшихся выше аргументов. Не меньшей проблемой является и определение вида самой функции, поскольку она изменяется по неизвестному закону. Наконец, принципы биоритмологии, в большой степени основывающиеся на идеологии детерминизма, не позволяют оценить сдвиги регуляции во всем их многообразии, а само их описание в результате всегда будет направлено в прошлое. Отсюда представляется невозможным в большинстве практически важных случаев синтезировать адекватную математическую модель поведения организма, не говоря уже о выявлении с ее помощью какой-либо качественной специфики, указывающей на характер дестабилизирующего организм фактора. Для эффективной адаптации к воздействиям постоянно меняющейся окружающей среды система должна иметь необходимое разнообразие, чтобы реагировать не только на известные, но и на новые, впервые встречающиеся раздражители. Присущая живому организму способность к аперцепции и пластичность, связанная с высокой вариативностью возможных реакций, предполагает существенно более сложное поведение, чем допускают классические постулаты гомеостатики.

Таким образом, научное обоснование альтернативного диагностического подхода, предполагающего создание модели функционирования организма, опирающейся на возможности гомеостатики, связано с необходимостью нового решения задачи описания интегрального регулирования. При этом получение искомой информации о норме и различных патологических состояниях основывается на доказательстве того факта, что феномен гомеокинеза обладает информационной емкостью и спецификой для принятия не только количественных (сам факт и степень устойчивости / неустойчивости), но и качественных решений (конкретная причина неустойчивости).

В этой связи значительный прогресс в понимании изучаемого явления и пути решения

поставленной задачи связаны с развитием теории функциональных систем [2]. Многочисленные исследования в данном направлении подтверждают, что успех адаптации определяется целенаправленным поиском искомого результата гомеокинеза через организацию функциональных систем, представляющих собой динамические ассоциации управляющих, сопрягающих и исполнительных структур (эффекторов), формирующихся при наличии системообразующего фактора. Сравнение, вследствие наличия обратной связи, полученного результата с его ожидаемым информационным образом в акцепторе действия вызывает поиск наиболее приемлемых вариантов функционирования, то есть обеспечивается непрерывность регулирования в постоянно изменяющихся условиях с направленностью в будущее. Именно поэтому гипотеза о возможных конфигурациях гомеокинеза, имеющих качественную диагностическую значимость, представляется высоко вероятной. Вместе с тем, несмотря на общее понимание проблемы, механизмы, в основе которых лежит активность функциональных систем, остаются все еще не достаточно ясными, а парадокс значительного разнообразия реакций системы при конечном числе степеней свободы не находит удовлетворительного объяснения.

Разрешение возникающего противоречия возможно, если принять во внимание полученные за последние 10 – 15 лет данные о том, что организму как системному объекту в его функциональных проявлениях свойственно чрезвычайно сложное детерминировано-хаотическое (случайно-подобное) динамическое поведение, для возникновения которого достаточно даже небольшого числа степеней свободы (минимально - 3-х степеней) [12, 13]. Подобные объекты генерируют нестационарные последовательности значений своих параметров, характеризующихся сплошным спектром. При этом хаотические феномены имеют максимально допустимое разнообразие по сравнению с детерминированными, случайными или псевдослучайными процессами [3, 5]. Отсюда следует, что построение текущих функциональных систем в рамках гомеокинеза, определяющее столь нетриви-

альные свойства конкретных параметров организма, может также протекать по аналогичным динамическим законам и представлять собой случайно-подобный феномен. При таком допущении парадокс конечного числа адаптивных механизмов и чрезвычайной пластичности гомеостатического регулирования снимается. Действительно, принимая постулат о существовании внутренних хаотических механизмов в организме, его подсистемах, встраивающихся в каждую вновь образующуюся функциональную систему, и следуя закону разнообразия, введенного в общую теорию систем У.Р. Эшби, можно полагать, что разнообразие воздействий внешней среды адекватно отображается и компенсируется организмом путем использования внутреннего разнообразия, которое основывается на механизмах хаотической динамики при реализации ее неисчерпаемых адаптационных возможностей. Другими словами, разнообразие воздействий можно компенсировать только равномошным внутренним разнообразием (подобное-подобным), которое генерируется, как это ни парадоксально, ограниченным числом биологических структур и механизмов по законам хаотической динамики.

#### **Пути осуществления метода моделирования гомеокинеза при детеминированно-хаотическом поведении системы.**

Математическим образом класса объектов, характеризующихся наличием детерминированного хаоса, является так называемый странный аттрактор. Это локальное притягивающее множество отсчетов тех или иных параметров функционирующей системы в многомерном пространстве существования, обладающее особыми геометрическими свойствами [14]. К настоящему моменту времени считается установленным, что странный аттрактор может быть получен по развертке во времени любой одной его оси фазового пространства. Указанное свойство играет существенную роль при проведении мониторинга поведения сложных многопараметрических систем, поскольку минимизирует, а значит, оптимизирует получение необходимой информации об изучаемом объекте.

В связи с вышесказанным встает проблема поиска достаточно емкого одномерного сигнала, являющегося искомой проекцией, по

которой можно осуществить восстановление аттрактора для характеристики диагностируемого объекта, взятого во всей его сложности. В этой связи следует отметить, что непременным условием существования и функционирования живой системы является наличие внутренних связей между ее морфологически и/или функционально относительно обособленными частями. Это, в свою очередь, означает соподчинение, корреляцию их активности, наличие процессов воздействия одних уровней и структур на другие. Следовательно, имеет место феномен управления, что сопряжено как с обменом энергии, так и с информационными потоками, объединяющими части в единое целое. Поэтому, оценивая количественную сторону информационного обмена, можно изучать базовые особенности функционирования сложных живых систем на максимально обобщенном уровне [7]. Математическим параметром, характеризующим данную сторону жизнедеятельности организма, является информационная энтропия, представляющая собой количественное выражение степени упорядоченности объекта, характеристику самоподдержания системой своей структурной и функциональной сложности. Отсюда следует, что в качестве наиболее эффективного сигнала-проекции, необходимой для синтеза странного аттрактора функционирующей системы (живого организма), в процессе гомеокинеза может выступать ее информационная энтропия, понимаемая как функция степени упорядоченности объекта во времени. При этом предполагается, что сдвиги этого параметра времени являются хаотическими.

В конкретно материальном виде процесс гомеокинеза находит объективное отражение в изменениях доступных нашей регистрации разнообразных биологических характеристик, что вызывает существенную проблему выбора, который по своей сути субъективен. Остается открытым вопрос о том, как рассчитать искомую информационную энтропию анализируемой системы и оценить ее динамику, используя какое-либо из проявлений жизнедеятельности организма. В этой связи наиболее привлекательными представляются те функции, которые аккумулируют в

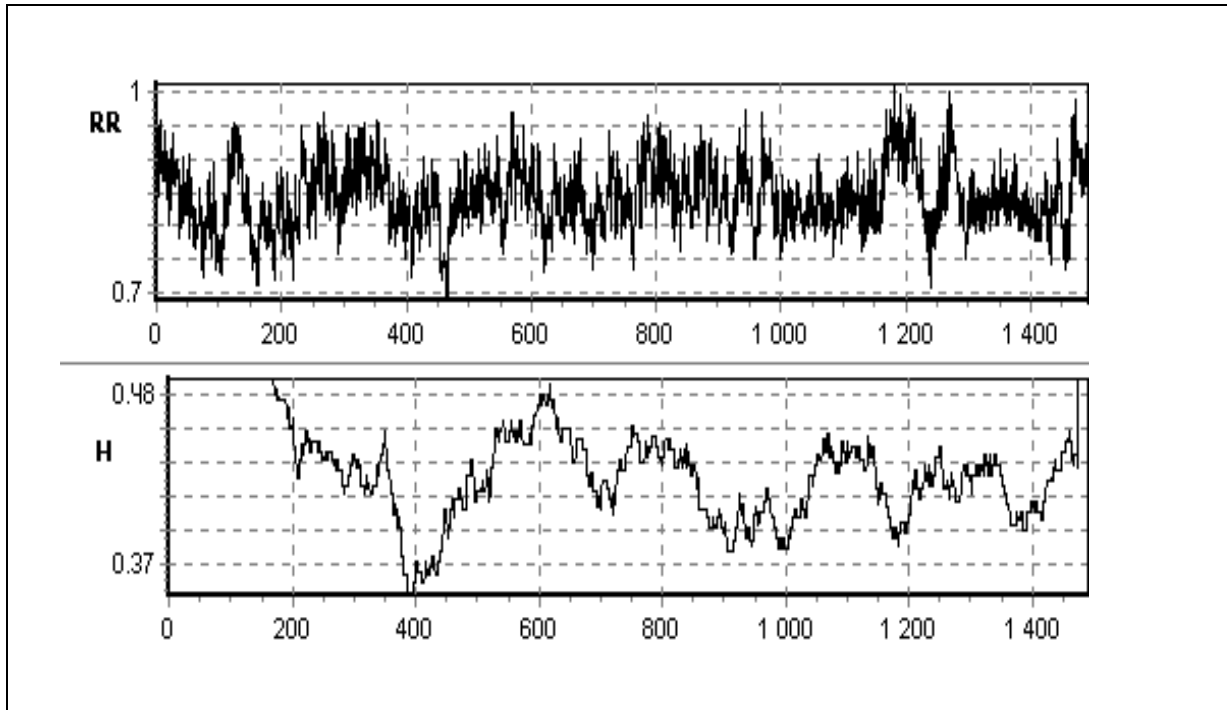
себе все многообразие внешних и внутренних влияний, что определяет их интегральность и максимальную сложность, а значит – информационную емкость. Таким условиям отвечает переменность ритма сердца (ВРС), в отношении которой многочисленными исследованиями последних лет доказано наличие детерминированно-хаотического поведения во времени [10, 11]. В отличие от многочисленных работ, где ВРС выступает как непосредственная характеристика функционального состояния сердечно-сосудистой системы, понимаемой в качестве эффекторной структуры организма, и исследуется с помощью рутинных математических методов, в данном случае варьирование длительности кардиоциклов интерпретируется в качестве показателя активности сердца как сопрягающего все акты жизнедеятельности органа. Поэтому его анализ предполагает применение нетривиальных инструментальных средств. В этих условиях ВРС проявляет свои действительно интегральные свойства и используется как ключ к определению динамики информационной энтропии, отражающей такие фундаментальные характеристики системы, как уровень ее функциональной структурности и текущей устойчивости или неустойчивости в целом.

Таким образом, конкретным субстратом исследования выступает процесс адаптации, проявляющий себя в особенностях системного гомеокинеза, то есть совокупности определенным образом организованных переходных процессов. Само регулирование при этом количественно описывается на интегральном уровне с позиций информационного анализа, теории хаоса и привлечением аппарата не только системного анализа, но и синтеза, что позволяет создать обобщенную динамическую модель поведения организма, имеющую когнитивные свойства и достаточно специфичную для осуществления диагностики. Тем самым распознавание искомым отличающихся состояний в норме и патологии переносится на ступень выше от конечных клинических проявлений – к организации механизмов, вызывающих их появление и сопровождающих дальнейшее развитие изучаемых процессов.

### **Практические предпосылки для синтеза модели системного гомеокинеза в целях диагностики различных состояний организма.**

Реализация обсуждаемой концепции диагностики осуществлялась в нескольких группах обследованных. Это были практически здоровые лица, а также пациенты, страдавшие различными кардиологическими, хирургическими и неврологическими заболеваниями. Всего в исследование были включены 450 человек, среди которых было 65 женщин и 385 мужчин разных возрастных групп (от 25 до 65 лет). Все испытуемые обследовались в условиях стационара соответственно установленным диагнозам. Разнообразие клинического материала определялось необходимостью подтверждения универсального характера предлагаемого диагностического подхода.

В практическом виде математическая однопараметрическая модель функционирования организма представляла собой описание текущего гомеокинеза в его проекции на динамику информационной энтропии ВРС, представленную в виде ее странного аттрактора в пространстве состояний системы. Получение кривой энтропии как временной функции, необходимой для дальнейших преобразований, реализовывалось путем предварительного расчета стартового значения параметра по исходному блоку данных (т.е. по группе последовательно взятых кардиоинтервалов, измеренных с точностью до 1 мс) с последующим смещением этого массива на 1 позицию на протяжении всей эпохи анализа. Величина исходного пула кардиоциклов определялась конкретными задачами исследования и составляла в разных группах испытуемых здоровых и больных лиц от 100 до 500 дат, что соответствовало временным промежуткам, варьировавшим в диапазоне от 1 до 20 минут. Это означает, что изучались переходные процессы, возникавшие в ходе системного регулирования и влиявшие на разнообразие и упорядоченность кардиоритма, которые имели аналогичную длительность. Далее в процессе сдвига исходного массива данных выявлялись тенденции в поведении этих "срезов" гомеокинеза за период



**Рис. 1.** Графики кардиоинтервалограммы и динамики информационной энтропии кардиоритма практически здорового испытуемого в покое.

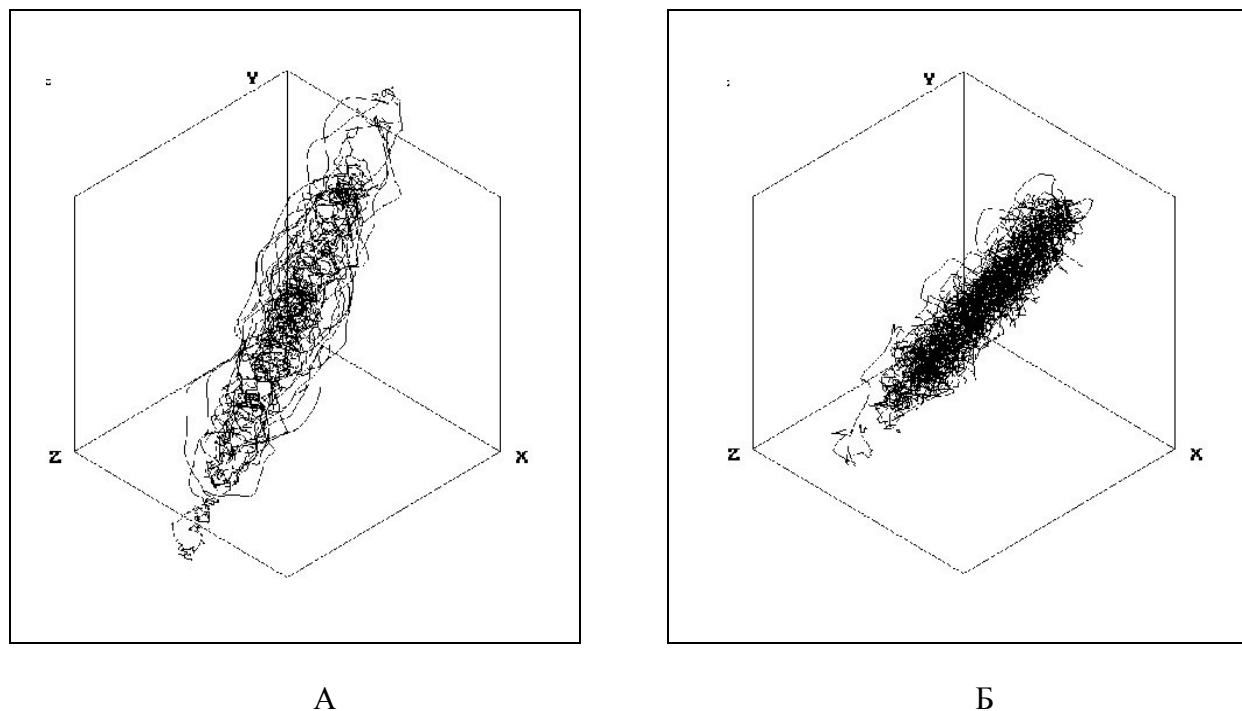
Примечание: RR - интервалограмма, H - динамика информационной энтропии кардиоритма; по оси абсцисс - временной индекс, по оси ординат – величины параметров.

всей продолжительности наблюдения – от 1 часа до 1 суток. Пример представлен на рисунке 1, где отражены ритмограмма и динамика энтропии кардиоритма здорового испытуемого за 2 часа наблюдений.

Вид графиков во всех группах обследованных свидетельствовал о сложном характере воздействий механизмов и факторов, формирующих текущие изменения величины информационной энтропии, который нельзя охарактеризовать как периодический или квазипериодический процесс. Аналогичные данные были получены во всех случаях, поэтому первоначальное теоретическое допущение о детерминированно-хаотическом (случайноподобном) характере динамики энтропии было проверено с помощью специального алгоритма, направленного на выявление уже достоверно установленных свойств подобных процессов (оценка нестационарности, наличие сплошного спектра, дробной корреляционной размерности) [1]. В результате установлено, что динамика информационной энтропии кардиоритма является хаотическим процессом у всех категорий обследованных, вне зависимости от наличия или от-

сутствия патологии, пола, возраста и других факторов. Данная закономерность была принята как базовая особенность функционирования организма, подтверждающая правомерность концептуальной основы предпринятого исследования. Она достоверно свидетельствовала о том, что организация гомеокинетических переходных процессов в рамках текущего регулирования нестационарна, а возникновение все новых ассоциаций механизмов, влияющих на разнообразие кардиоритма, как и он сам (ВРС), во временном аспекте демонстрирует случайно-подобный характер.

Полученный результат определил правомерность использования для дальнейшего исследования предлагаемой интегральной модели гомеокинеза в целях подтверждения ее диагностической значимости специальных математических инструментальных средств, разработанных для характеристики хаотических процессов. В частности, применялся метод так называемого восстановления странного аттрактора с последующей оценкой его топологических свойств. В каждом из наблю-



**Рис. 2.** Проекция странных аттракторов динамики информационной энтропии кардиоритма больного нестабильной стенокардией напряжения (А) и практически здорового испытуемого (Б).  
Примечание: оси X, Y, Z – обозначают условные координаты пространства существования объекта.

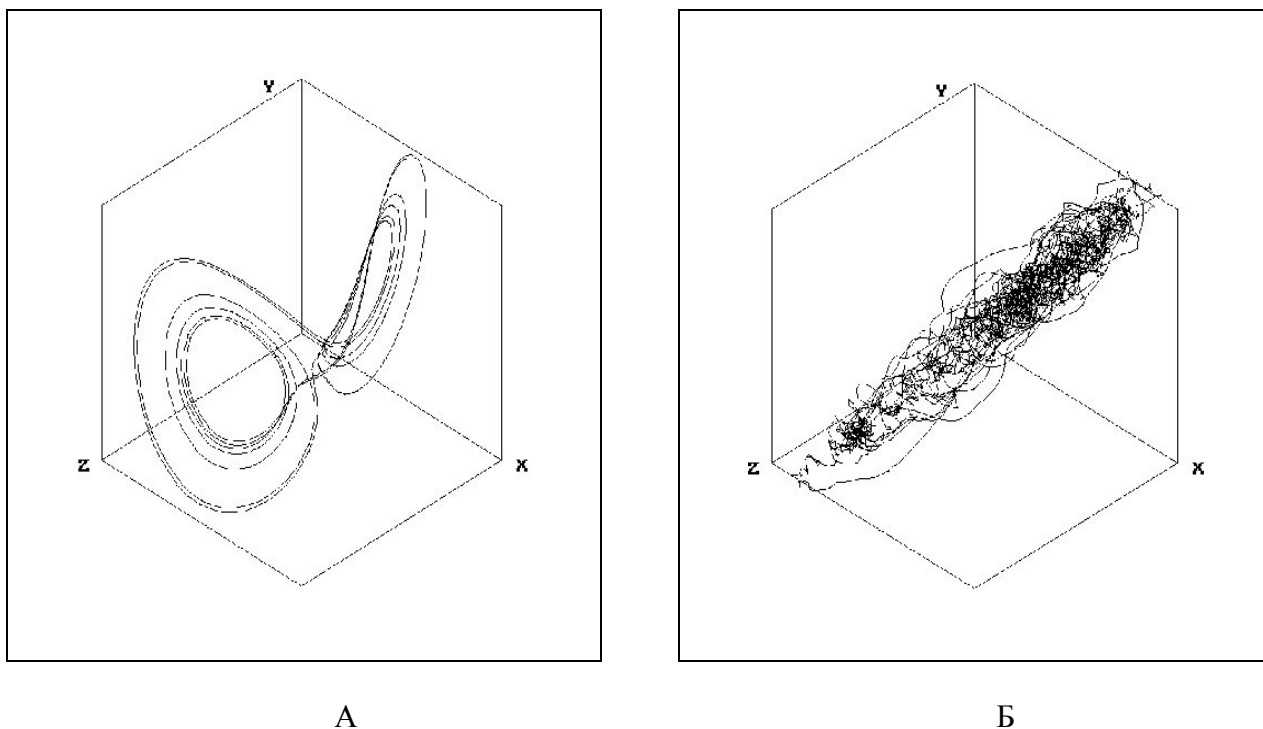
наблюдений последовательность значений энтропии (одномерный сигнал), полученная в ходе мониторинга кардиоритма за определенный промежуток времени, служила материалом для представления данных в виде траектории процесса в фазовом пространстве состояний. Метод предполагал определение размерности пространства (пространства вложения), в котором существует странный аттрактор, сформированный фазовой траекторией сдвигов энтропии кардиоритма. Эта процедура выполнялась согласно известному алгоритму Чжуа-Паркера, в основе которого лежит анализ перманентного свойства локальных притягивающих множеств хаотических процессов – самонепересекаемости принадлежащей им фазовой траектории [6]. При достижении данного условия путем последовательного увеличения на единицу целочисленной размерности фазового пространства в процессе восстановления странного аттрактора по реальным экспериментальным данным, синтез искомой модели проекционной гомеокинеза считался законченным. На рисунке 2 приведены результаты процедуры восстановления странного аттрактора энтро-

пии кардиоритма у здорового испытуемого и больного, страдавшего нестабильной стенокардией напряжения.

Из рисунка следует, что локальные притягивающие множества энтропии кардиоритма в обоих случаях визуально представляют собой явления одного класса, однако их внутренняя топологическая структура индивидуальна и чрезвычайно сложна. Именно она является сосредоточением всей искомой информации, количественно и качественно характеризующей объективное состояние индивидуумов на интегральном уровне. При этом все координаты результирующего фазового пространства и особенности топологической структуры существующего в нем странного аттрактора рассматриваются в качестве группировки искомых диагностических признаков, присущих рассматриваемой интегральной однопараметрической модели системного гомеокинеза.

**Свойства топологической структуры странного аттрактора энтропии кардиоритма, имеющие диагностическую значимость.**

При детальном рассмотрении проекций



**Рис. 3.** Синтезированный аналитическим путем странный аттрактор ("динамо Рикитаке") - А; реальное притягивающее множество динамики энтропии кардиоритма больного ИБС - Б.  
Примечание: оси X, Y, Z - обозначают условные координаты пространства существования объекта.

фазовых траекторий полученных нами странных аттракторов, характеризующих упорядоченность кардиоритма, которые отображались из пространства существования на плоскость, выяснилось, что во всех частных случаях принадлежащие им последовательно составляющие фазовую траекторию точки расположены по отношению друг к другу неравномерно. Специально проведенное исследование позволило установить, что этот эффект не связан с самой процедурой проецирования и визуализации объекта, а определяется присущими ему внутренними свойствами. Более того, эта особенность оказалась типичной именно для реальных странных аттракторов, характеризующих поведение живого функционирующего организма, в отличие от математически синтезированных аналогичных объектов, свойства которых традиционно изучаются специалистами в данной области нелинейной динамики.

Указанные отличия очевидны из рисунка 3, где в качестве примера приведены двумерные проекции созданного аналитическим путем странного аттрактора, представляющего известного модель хаотического процесса

(так называемый хаотический генератор "динамо Рикитаке"), и аналогичного объекта, представляющего собой преобразование реальных клинических данных мониторинга кардиоритма больного ИБС. Очевидно, что во втором случае в теле притягивающего множества имеются отчетливые сгустки (уплотнения) траектории, указывающие на его сложное комплексное строение. Это означает, что топологическая структура странного аттрактора динамики энтропии кардиоритма, принятая как проекционная модель интегрального гомеокинеза, обладает высокой информационной емкостью и верифицируемой спецификой, что делает перспективу диагностики различных состояний организма вполне реальной. Именно это свойство представленной методики оказалось наиболее важным в смысле решения поставленных задач. Способность выявлять относительно кратковременные сдвиги характера перемещения фазовой траектории реализуется в условиях, когда такие уже достаточно традиционно используемые приемы анализа детерминированно-хаотических процессов, как расчет корреляционной или информационной



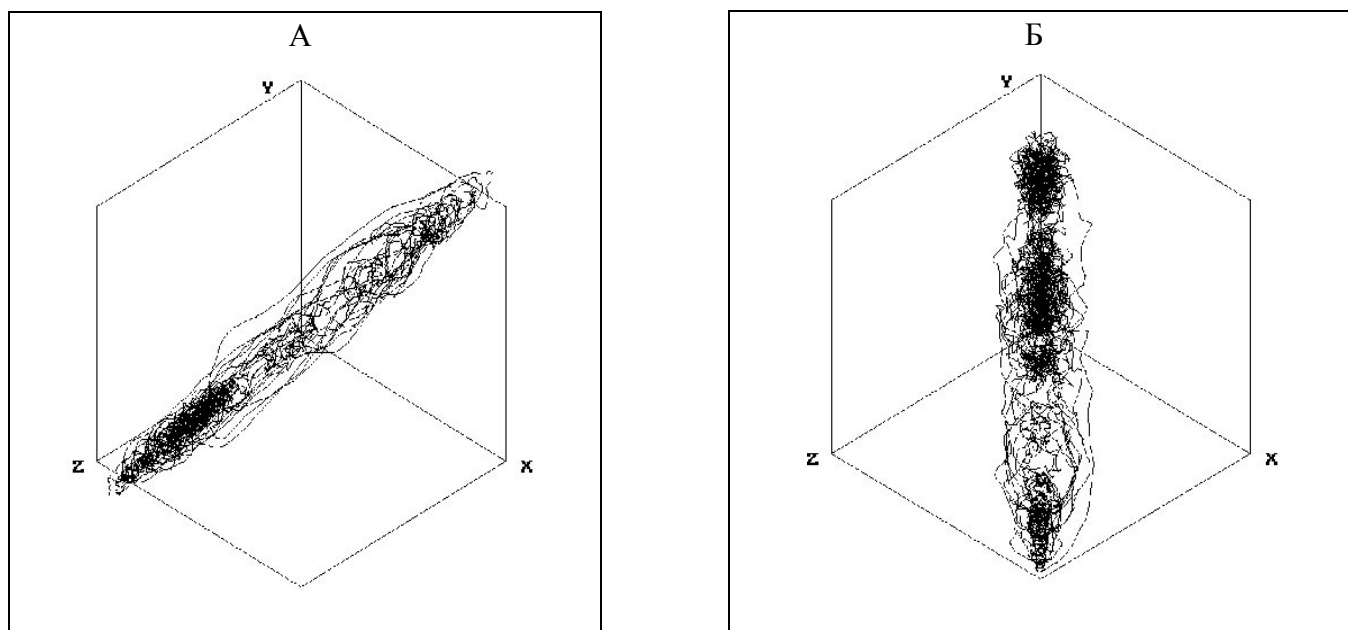
размерности, дают стабильные результаты, что не позволяет осуществлять динамическое наблюдение за объектом и обеспечить эффективную текущую диагностику его достоверно отличающихся, в том числе, неустойчивых состояний.

Таким образом, методика позволила выявить кардинальную особенность сложных биологических систем – эффект структурирования их фазового пространства в ответ на воздействия, заключающийся в формировании вторичных локальных притягивающих множеств (субаттракторов), существующих в теле основного странного аттрактора. Эти турбулентности, возникающие по мере разворачивания основной траектории динамического процесса в условиях непрерывного действия различных помех, свидетельствуют об усложнении и изменении текущего консенсуса биологических осцилляторов, определяющих специфику гомеокинетических реакций. Они представляют собой маркеры появления новых ассоциаций регуляторных механизмов, проявляющихся в сдвигах организации кардиоритма в процессе адаптации.

Подтверждением диагностической значимости феномена структурирования фазового пространства явились результаты статистического анализа количества субаттракторов у

практически здоровых добровольцев в покое и на фоне выполнения ВЭМ-теста за сходные промежутки времени. Обе группы состояли из 50 испытуемых каждая. В первом случае число активировавшихся субаттракторов за 60-минутный стандартный интервал времени не превышало 8 и в среднем в группе составило  $4,7 \pm 2,3$ , а во втором – значительно варьировало в зависимости от предъявляемой нагрузки и в целом было достоверно большим  $18,3 \pm 7,8$  ( $P > 0,05$ ).

На рисунке 4 представлены двумерные проекции странных аттракторов динамики энтропии кардиоритма обследованных в состоянии покоя и при выполнении физической нагрузки. Из рисунка видно увеличение числа локальных областей сгущения точек фазовой траектории сигнала на фоне физического стресса (Б). Аналогичная реакция выявлена у реанимационных больных при развитии острых соматических расстройств, в том числе на фоне комы, а также у пациентов хирургического профиля при нарастании степени интраоперационного стресса, когда количество участков повышения плотности точек фазовой траектории изучаемого динамического процесса эпизодически экспоненциально нарастало за короткие промежутки времени во время травматических хирургических мани-



**Рис. 4.** Проекция странных аттракторов динамики энтропии кардиоритма (А) испытуемого в состоянии покоя и (Б) – на фоне выполнения физической нагрузки.

Примечание: оси X, Y, Z - обозначают условные координаты пространства существования объекта.

пуляций или при неадекватной анестезиологической защите. Эффект проявлялся во всех случаях как экзогенного, так и эндогенно индуцированного стресса, причем вне прямой связи с изменениями частоты исходного кардиоритма. Это означает, что феномен структурирования фазового пространства весьма чувствителен и отражает текущие сдвиги степени организации кардиоритмики в связи с воздействием разнообразных, в том числе кратковременных дестабилизирующих факторов, в то время когда относительно устойчивые базовые тонические влияния вегетативной и гуморальной регуляции, вследствие своей относительной инертности, все еще не приводят к изменениям общепринятых статистических параметров, характеризующих работу сердца. Отсюда следует, что даже простая количественная оценка степени структурирования фазового пространства системы (функционирующего организма) может служить универсальным независимым источником информации о внутреннем состоянии гомеостатической системы в случаях "покой – стрессорная реакция", в том числе когда его изменения протекают скрыто.

Другой аспект исследования аттракторной модели системного регулирования связан с определением координат субаттракторов в пространстве существования и анализом переходов фазовой траектории между этими областями. Предварительные результаты свидетельствуют о том, что в процессе перестройки, происходящих в организме с течением времени, активация вторичных локальных притягивающих множеств в теле основного аттрактора реализуется не строго последовательно, а подчиняясь сложным закономерностям, обеспечивающим повторный вход траектории в зоны проекций уже ранее проявившихся комбинаций регуляторных механизмов. Следовательно, важен не только факт появления субаттракторов, но и конкретная локализация каждого из таких образований в пространстве состояний, а также их временной набор (комбинация), которые являются основой для сопоставления с теми или иными клиническими синдромами. Иными словами, открываются возможности не только количественного, но и качественного анализа состояний организма по топологическим осо-

бенностям странного аттрактора динамики информационной энтропии variability кардиоритма.

Таким образом, сдвиги информационной энтропии, интерпретированной в качестве функции степени организации живой системы во времени, является одним из наиболее ценных и перспективных для изучения феноменов, характеризующих объекты подобного класса. Поскольку при расчете энтропии в качестве исходного материала используется другой также высокоинформативный интегральный выходной сигнал организма – variability кардиоритма, появляется возможность отразить все многообразие процесса текущей адаптации, в результирующем сложном одномерном сигнале. В свою очередь эти преобразования лежат в основе построения простой и достаточно эффективной аналитической модели практически важного для диагностики явления - системного гомеостатического. При этом сама модель имеет не только утилитарные, но когнитивные свойства, поскольку позволяет выявить фундаментальное свойство системного регулирования – детерминированно-хаотический характер его структуры. Это уникальное свойство живого организма определяет то обстоятельство, что в процессе приспособления к разнообразным дестабилизирующим факторам могут возникать чрезвычайно разнообразные конфигурации гомеостатической системы, ряд из которых может быть типирован, поставлен в соответствие с определенной клинической симптоматикой, что может служить целям различения различных состояний организма в норме и патологии. Иными словами, выявление хаотических свойств, присущих функционированию организма в процессе поиска динамического равновесия, позволяет по-новому оценить характер гомеостатической и ее роль как одного из перспективных инструментов диагностики в рамках формирования новой концепции принятия медико-биологических решений. Практическая реализация этих взглядов связана с применением специальных математических средств анализа параметров организма и построением с их помощью странного аттрактора, отражающего информационную сторону процесса регулирования. Наиболее суще-

ственным является то обстоятельство, что топологическая структура этого объекта, рассматриваемого с позиций системного синтеза, концентрирует в себе всю необходимую информацию о состоянии организма. В качестве носителя этой специфики установлены новые свойства – неравномерное последование точек фазовой траектории аттрактора и эффект структурирования пространства его существ-

ования, формирующий сложную внутреннюю структуру под действием дестабилизирующих организм разнообразных факторов. Эти закономерности позволяют разрабатывать совершенно новые, действительно интегральные по сути, методы оценки состояния организма, не связанные прямо с феноменологической оценкой видимой симптоматики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Анищенко В.С.* Динамические системы / В.С. Анищенко // Соросовский образовательный журнал. - 1997. - № 11. - С. 77-84.
2. *Анохин П.К.* Очерки по физиологии функциональных систем / П.К. Анохин. - М.: Медицина, 1975. - 446 с.
3. *Вильямс Р.Ф.* Структура аттракторов Лоренца / Р.Ф.Вильямс // Странные аттракторы. - М.: Мир, 1981. - 256 с.
4. Гомеостатика живых, технических, социальных и экологических систем / Под ред. Ю.Н. Горского. - Новосибирск, 1990. - 346с.
5. *Мун Ф.* Хаотические колебания / Ф. Мун. - М.: Мир, 1990 - 356 с.
6. *Паркер Т.С.* Введение в теорию хаотических систем для инженеров / Т.С. Паркер, Л.О. Чжуа. // ТИИЭР. - 1987. - Т. 75, № 8. - С. 6-40.
7. *Судаков К.В.* Информационный принцип в физиологии: анализ с позиций общей теории функциональных систем / К.В. Судаков // Успехи физиол. наук – 1995. - Т. 26, № 4. – С. 3-27.
8. *Шеннон К.* Математическая теория связи. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. - М.: Иностран. лит. - 1963. – 829 с.
9. *Эшби У.* *Росс.* Введение в кибернетику / У.Р. Эшби – М.: Иностран. лит. - 1959. - 432 с.
10. *Braun C.* Demonstration of nonlinear components in heart rate variability of healthy persons / C.Braun // Am. J. Physiol. – 1998 New. – Vol. 275 (5 Pt2) – P. 1577-1584.
11. Chaos in the heart implications for clinical cardiology / J.E. Skinner, A.L. Goldberger, G. Mayer-Kress, R.E. Ideker // Biotechnology. - 1990. - Vol. 8. - P. 1018-1033.
12. *Lorenz E.N.* Deterministic nonperiodic flow / E.N. Lorenz // J. of the Atmospheric Science. - 1963. – Vol. 20. - P. 130-141.
13. *Olsen L.F.* Chaos in biological systems / L.F. Olsen, H. Degn // Quart. Rev. Biophys. – 1985. - Vol. 18. – P. 165-225.
14. *Takens F.* Detecting strange attractors in turbulence / F. Takens // Warwick Lecture Notes in Math. – W. Berlin, Springer, 1980. - Vol. 898. - P. 366-381.