

### III. МАТЕМАТИКА В ОПИСАНИИ ХАОСА И СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

#### АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КВАЗИАТТРАКТОРОВ В ОЦЕНКЕ ДИНАМИКИ ВЕКТОРА СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА ХИРУРГИЧЕСКИХ БОЛЬНЫХ

*Еськов В.В., Дудин Н.А., Бурькин Ю.Г., Филатова О.Е., Химиков А.В.*

*ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО – Югры»*

*Количественная идентификация процессов смены парасимпатотонических и симпатотонических (тонических и фазических) состояний гомеостаза у хирургических больных – это особая проблема для хирургии. В связи с этим это приводит к необходимости разработки новых биоинформационных методов оценки качества управления послеоперационным периодом и обработки информации о состоянии пациента как перед операцией, так и в период выздоровления для оценки эффективности лечения.*

**Ключевые слова:** *нейровегетативный статус, симпатотония, парасимпатотония.*

#### **Введение**

Общеизвестна связь состояния параметров нейровегетативной системы (ВНС) с характером течения заболевания и процессом выздоровления. Однако, количественные взаимоотношения между параметрами ВНС и параметрами гомеостаза остаются все еще мало изученными.

Особое значение имеет характер этого взаимоотношения при операционных вмешательствах. Считается, что на первом этапе операции может преобладать активность парасимпатической системы, которая демонстрирует тоническое состояние не только ВНС, но и всего гомеостаза в целом. Тоническое состояние сопровождается пролиферацией клеток (она необходима при заживлении раневого канала), низкой вязкостью крови и слабыми иммунными ответами. Однако, по мере выздоровления организма ведущая роль в гомеостазе переходит к симпатической нервной системе, которая соответствует фазическому состоянию ВНС и всего гомеостаза (Скупченко В.В. 1990-1998, Еськов В.М. 1996-2006).

Управление динамикой ВНС в виде волнового перехода от парасимпатотонии к симпатотонии осуществляется в том числе и на психическом уровне. В этой связи изучении динамики таких переходов и их влияния на репарационные процессы и выздоровление в целом представляет особый интерес не только для хирургии, но и для общей теории патологии в целом (Еськов В.М., Хадарцев А.А., 2006-2012). Количественная идентификация процессов смены

парасимпатотонических и симпатотонических (тонических и фазических) состояний гомеостаза у хирургических больных – это особая проблема для хирургии. В первую очередь это обусловлено тем, что задержка организма после операции в состоянии парасимпатотонии чревата серьезными последствиями для пациента (выздоровление будет затягиваться, возможны хронические процессы). Наоборот, удержание гомеостаза в глубокой симпатотонии (что характерно для предоперационного периода) будет задерживать начало репарационных процессов, увеличивает сроки пребывания пациента в больнице. В этой связи мы можем говорить и о проблеме управления такими процессами, но управление требует разработки точных количественных методов измерения состояния ВНС и методов оценки степени влияния управляющих воздействий на организм оперируемого пациента. В качестве управления выступают и экофакторы среды, т.к. тяжесть заболевания часто зависит от сезона года и это также требует научного изучения.

Все это приводит к необходимости разработки новых биоинформационных методов оценки качества управления послеоперационным периодом и обработки информации о состоянии пациента как перед операцией, так и в период выздоровления. Период после операции также важен, как и период перед операцией, а разработка интегративных методов оценки динамики ВНС в ходе операционного вмешательства является

очень важным разделом хирургии, т.к. обеспечивает правильное ведение больного как до операции, так и после. Разработка новых методов оценки состояния гомеостаза у операционных больных может базироваться на новом подходе в медицине, который основан на теории хаоса-самоорганизации (ТХС). В рамках ТХС становится возможным осуществить интегративное определение статуса больного и выработать комплексное обоснование в оценке нейровегетативного статуса больного с позиций именно многомерного фазового пространства состояний (Хадарцев А.А., Фудин Н.А., 2006-2012). Использование новых биоинформационных методов на базе многомерных фазовых пространств может обеспечить получение интегративных параметров в оценке статуса больного, что и составило основу настоящей работы.

### **1. Физико-математические методы идентификации компонент вектора состояния организма хирургических больных.**

Анализ колебательной структуры сердечного ритма (вариабельности сердечного ритма – ВСР) у хирургических больных производился с помощью фотооптических датчиков и специализированного программного вычислительного комплекса на базе ЭВМ. В устройстве применялся оптический пальцевый датчик (в виде прищепки), с помощью которого происходила регистрации пульсовой волны с одного из пальцев кисти пациента. Прибор снабжен программным продуктом «ELOGRAPH», который в автоматическом режиме позволяет отображать изменение ряда показателей в режиме реального времени с одновременным построением гистограммы распределения длительности кардиоинтервалов (КИ). Анализ ВСР проводился в положении сидя, при ровном дыхании, в тихом помещении. Перед началом исследования пациент проходил период адаптации к окружающим условиям в течение 10-15 минут. В период исследования пациенту предлагалось дышать равномерно и спокойно, не делая

глубоких вдохов, не кашлять и не сглатывать слюну.

При спектральном анализе, вычислялась спектральная плотность мощности (СПМ) ВСР, которая отражает распределение по частоте в среднем мощности (колебательной активности) ВСР. Обработка массивов кардиоинтервалов (кардиограмм) производилась непараметрическим методом вычисления СПМ ВСР (метод Уэлча), с использованием процедуры быстрого преобразования Фурье (БПФ). При этом, рассчитывался и усреднялся набор спектров в получаемых на последовательно смешанных во времени коротких сегментах исходной последовательности ВСР. В рамках такого подхода оценивалась СПМ ВСР, производился расчет СПМ для трех стандартных интервалов частот (0-0,04 Гц), (0,04-0,15 Гц), (0,15-0,5 Гц), производилась оценка показателей симпатической вегетативной нервной системы (СИМ) и парасимпатической вегетативной нервной системы (ПАР), определялся индекс Баевского (ИБ).

Одновременно у групп больных производились измерения уровня ряда биохимических показателей (глюкозы (мкмоль/л); билирубин общий (мкмоль/л); билирубин прямой (мкмоль/л); аланинаминотрансфераза (АЛАТ); аспартатаминотрансфераза (АСАТ)). Всё это было координатами  $x_i$  вектора состояния системы (ВСС), при этом образовывался кластер компонент ВСР (общая размерность фазового пространства  $m_1 = 15$ ) и кластер компонент вектора состояния биохимических параметров крови ( $m_2=5$ ). В данной работе представлено фазовое пространство состояний (ФПС) с  $m_1=15$  (с выбранными параметрами порядка этого ФПС  $m=5$ ) и ФПС биохимического статуса с  $m_2=5$ .

Методами обработки данных послужили оригинальные инновационные программы [2, 3], используемые для интегративной оценки состояния нейровегетативного и биохимического статуса организма оперируемых больных. Параметры нейровегетативной системы

(НВС) и параметры биохимического статуса организма образовывали два больших кластера данных (ФПС с  $m_1$  и  $m_2$ ). Эти данные рассчитывались в рамках традиционной статистики и новыми биоинформационными методами. Рассмотрим основные алгоритмы расчета.

## 2. Алгоритмы анализа хаотической динамики вектора состояния сложных систем в хирургии.

Новые методы основаны на идентификации объемов квазиаттракторов в фазовом пространстве состояний (ФПС) первоначально для одного кластера (группы больных) и далее для другого. При этом производилось поэтапное (поочередное) исключение из расчета отдельных компонентов  $x_i$  вектора состояния  $x=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$  функциональных систем организма (ФСО) с одновременным анализом параметров квазиаттракторов и сравнением существенных или несущественных изменений в параметрах квазиаттрактора после такого исключения. Алгоритм такой процедуры основывается на следующих этапах расчёта.

Во-первых, в программу расчета на ЭВМ поочередно вводятся исходные значения (компоненты вектора состояний организма человека - ВСОЧ) которые формируются в виде матрицы  $A_{ij}^k = \{a_{ij}^k\}_{i=1, \dots, m}^{k=1, \dots, p}$  параметров биосистемы, например параметры ВНС, по каждому из  $k$  кластеров. Каждый такой кластер включает анализируемые показатели больных, которым предстоит экстренная или плановая операция на желчном пузыре в осенне-зимний период. Второй кластер включает анализируемые показатели больных во второй, весенне-летний период. Наблюдения производились дважды: перед операцией и после операции. Получаем матрицу состояний для всех  $p$  кластеров в  $m$ -мерном фазовом пространстве. Здесь  $i$ - бегущий индекс компонента вектора  $x_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ), а  $j$ -номер ( $j = 1, \dots, n$ ) биообъекта (пациента), номер кластера  $k$  тоже может изменяться ( $k = 1, \dots, p$ ). Иными словами элемент такой матрицы  $a_{ij}^k$  представляет  $k$ -й кластер ВНС,  $i$ -й компонент ВСОЧ, для  $j$ -го

пациента (или  $j$ -й группы больных).

Далее производится поочередный расчет координат граней для всех  $i$ -х параметров ВСОЧ, для всех  $j$ -х пациентов ( $j = 1, \dots, p$ ) из  $k$ -го кластера ( $k = 1, \dots, p$ ). В частности, определялись их длины (Interval), например, для 2-х кластеров ( $x$  и  $y$ ) будем иметь:

$$D_i^x = x_{i(max)} - x_{i(min)}, D_i^y = y_{i(max)} - y_{i(min)},$$

где  $x_{i(max)}$ ,  $x_{i(min)}$  координаты крайних точек, **совпадающих** с нижней (или левой) и верхней (или правой) границами фазовой области по  $i$ -й координате. **Далее, рассчитывается вектор** объемов (**GeneralValue**)  $V = (V_0, V_1, \dots, V_p)^T$ , ограничивающих размеры всех квазиаттракторов, а так же показатели асимметрии (Asymmetry) в виде матриц размерности  $m * m$  ( $P_{mm}$ ) для стохастического

$$X_1^C = (x_{11}^C, x_{12}^C, \dots, x_{1m}^C)^T, \dots, X_p^C = (x_{p1}^C, x_{p2}^C, \dots, x_{pm}^C)^T,$$

$$\text{и хаотического центров } X_1^x = (x_{11}^x, x_{12}^x, \dots, x_{1m}^x)^T, \dots, X_p^x = (x_{p1}^x, x_{p2}^x, \dots, x_{pm}^x)^T.$$

$$\text{Здесь } X_{ki}^C = \sum_{j=1}^n \frac{X_{ij}}{n} \text{ – формула для иден-}$$

тификации координат  $k$ -го стохастического центра для  $k$ -го кластера квазиаттракторов, который находится путем вычисления

$$\text{среднего } \sum_{j=1}^n \frac{X_{ij}}{n} \text{ арифметического для всех}$$

одноименных  $i$ -х координат (для точек, находящихся на  $i$ -ой оси) из  $k$ -го кластера, представляющих проекции конца вектора состояния ФСО на каждую  $i$ -ую координатную ось. Отметим, что координатам центра хаотического квазиаттрактора для каждого из всех  $P$  кластеров имеет вид  $X_{ki}^x = x_{i(min)} + D_i^k / 2$ , т.е. по этой формуле производится идентификация хаотического центра квазиаттракторов, используемых для расчета матрицы  $Z$ . Здесь  $D_i^k$  – это ширина интервала на фазовой координате, т.е. величина грани квазиаттрактора (размер интервала изменения переменной  $x$ ) в проекции на  $i$ -ую координату для  $k$ -го кластера измерений.

Отдельно вводится параметр  $R$ , показывающий степень изменения объема

квазиаттракторов для  $k$ -го кластера до и после уменьшения размерности фазового пространства на одну координату ВСС. В исходном приближении вычисляем  $R_0 = V_0^1 - V_0^2/V_0^1$ . Здесь  $V_0^1$  – общий объем параллелепипеда ( $V_0^1 = \prod_{i=1}^m D_i^1$ ), внутри которого находится 1-й квазиаттрактор движения вектора состояния системы (например, ВСОЧ) для 1-го кластера данных (I – анализируемые показатели ВСП для обследуемых больных, например, до начала терапии или операционных воздействий (исходно)) в  $m$ -мерном фазовом пространстве. Далее,  $V_0^2$  – объём параллелепипеда ( $V_0^2 = \prod_{i=1}^m D_i^2$ ), внутри которого находится 2-й квазиаттрактор движения ВС для 2-го кластера данных (II – показатели ВСО больных по завершении контрольного наблюдения при терапии или хирургическом вмешательстве) и т.д. для кластеров, общее число которых может быть  $p$  (число нозологических групп, например). В нашем случае эти группы формировались в зависимости от сезона года (2 сезона) или по гендерным различиям (группы женщин и мужчин).

После последовательного исключения (поочередного) каждого из компонент  $x_i$  вектора  $X$  т.е. каждые  $x_i$  для одного и другого кластера исключаются одновременно (аналогично и для всех кластеров одновременно и поочередно), то тогда для всех  $j$  вычисляется вторые и далее все  $i$ -е приближения параметров квазиаттракторов  $R_i = V_i^1 - V_i^2/V_i^1$ . Таким образом, получаем некоторый вектор таких величин, т.е.  $R = (R_0, \dots, R_m)^T$  значений, этот вектор размерности  $m+1$ , имеет компоненты  $R_i$  которого демонстрируют уменьшилась или увеличилась относительная величина объемов квазиаттракторов  $V$  при изменении размерности ФПС. При уменьшении объемов квазиаттракторов  $V_G$ , анализируются параметры  $x_i$  системы, которые максимально влияют на  $R_i$  и на основе их величин изменчивости делается заключение о существенной (если параметры  $R_i$  существенно меняются) или

несущественной (параметры почти неизменны) значимости конкретного, каждого  $x_i$  компонента всего ВСОЧ  $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ . Компоненты  $x_i$ , которые максимально изменяют  $R_i$  являются параметрами порядка (ПП) с диагностическими признаками, т.к. имеют наибольшее клиническое значение. В общем случае размеры квазиаттракторов ( $V$ ) могут даже не изменяться, но новый квазиаттрактор будет другой, его центр в фазовом  $m$ -мерном пространстве переместится в другую область фазового пространства. Возникают новые методы оценки динамики поведения ВС (особенностей ВСОЧ), что имеет большое значение для медицины. В этой связи мы контролируем одновременно и объёмы квазиаттракторов  $V_G$  и положение их центров в ФПС. Для контроля положений квазиаттракторов в ФПС Сургутской научной школой медицинской кибернетики был разработан метод матриц межаттракторных расстояний. Представим кратко суть этого метода.

### 3. Расчёт матриц межаттракторных расстояний в хирургии.

Особое место в ряду новых методов многомерных фазовых пространств занимает новый способ идентификации матриц  $Z$  межаттракторных расстояний [3]. Для идентификации расстояний  $Z_{kf}$  между центрами ( $k$ -го и  $f$ -го) хаотических квазиаттракторов вектора состояния организма больных или других обследуемых в рамках хирургического вмешательства и с учётом экологии человека на Севере, когда экофакторы Югры выступают в роли внешних управляющие воздействия – ВУВов (различные виды терапии, операционные вмешательства в организм на фоне действия экофакторов) можно проводить воздействия и регистрировать параметры функции организма каждого из группы до воздействия и после воздействия, или измерять периодически в течение всего периода наблюдения параметры квазиаттракторов.

В наших исследованиях эффективность лечебного воздействия определялась сравнительно, т.е. до начала операции, но в разные сезоны года, или в крайних контрольных точках («исходно» и «по завершении

контрольного наблюдения»). При этом изучались оценки интегральных индикаторов в виде объёмов квазиаттракторов и межаттракторных расстояний  $Z$  по отношению к разным сезонным периодам, или в разных гендерных группах, или в разных условиях внешних управляющих воздействий (ВУВ).

Эти параметры межаттракторных расстояний в виде элементов общей матрицы  $Z$  образуют наборы (компарменты) диагностических признаков (маркеров тяжести заболевания) в пределах одной фазовой координаты  $x_i$  из набора всех координат  $m$ -мерного фазового пространства с одинаковыми диагностическими характеристиками. Иными словами, мы можем находить матрицы межаттракторных расстояний для отдельных групп больных, а можно их рассчитывать и для каждого пациента и получать информацию о тяжести заболевания и эффективности лечения (по значениям  $Z$ ) для каждого конкретного больного. При таких расчётах точкой отсчёта может быть центр квазиаттрактора группы больных (с одинаковыми признаками) или центр квазиаттрактора референтной группы (например, средние параметры нормы или патологии).

Тогда каждый больной со своим набором признаков (компоненты вектора состояния организма данного человека – ВСОЧ) задается точкой в этом фазовом пространстве состояний так, что группа наблюдения образует некоторое «облако» (из набора квазиаттракторов) в фазовом пространстве состояний, а в динамике наблюдения эффект ВУВ, т.е. терапия или хирургическое вмешательство, может сопровождаться модификацией (образованием разных «облаков») квазиаттракторов в ФПС. В этом случае можно зарегистрировать расстояния  $z_{kf}$  – (здесь  $k$  и  $f$  – не только группы обследуемых в зависимости от сезона года, пола или каких-либо других особенностей), но и конкретные больные, которые изучаются в конкретном исследовании. Это могут быть или группы больных с разными методами лечения (схемами операций, видами лекарственной терапии) или группы

больных, находящихся в разных экологических условиях (например, в разные сезоны года) или просто больные из общей группы. В последнем случае можно построить внутригрупповую матрицу расстояний (между всеми пациентами в группе) или матрицу  $Z$  до лечения и после (до воздействия ВУВ и после).

Для таких разных групп обследуемых можно определить параметры квазиаттракторов в виде их объёмов и координат центров квазиаттракторов. В этом случае в многомерном фазовом пространстве состояний мы можем рассчитать координаты центров квазиаттракторов не только для групп обследуемых, но и для каждого отдельного обследуемого. Если организм человека наблюдается некоторое время  $\tau$ , то его параметры компонент  $x_i$  будут варьировать (в нашем случае мы имеем  $m=11$  для «Элокса») и можно тоже образовывать квазиаттракторы для каждого пациента. Тогда можно построить матрицы межаттракторных расстояний для всей отдельной группы обследуемых размерностью  $n*n$ , где  $n$  – число обследуемых в группе, это будет матрица индивидуальных сравнений.

Можно также произвести расчёт и сравнение матриц расстояний между хаотическими или стохастическими центрами разных квазиаттракторов, которые формируют матрицы хаотических центров  $Z_c$  и стохастических  $Z_s$ . Такие матрицы  $Z$  задают самые разные расстояния между хаотическими и стохастическими центрами квазиаттракторов, описывающих состояние разных групп обследуемых. Например, до начала лечебного воздействия и после воздействия в заданных точках контрольного наблюдения, а также такие матрицы демонстрируют различия между отдельными пациентами в группе с одинаковыми качественными характеристиками.

Существенно, что максимальные различия в расстояниях между хаотическими или стохастическими центрами квазиаттракторов  $z_{kf}$  движения ВСОЧ обследуемых групп

испытуемых в контрольных точках наблюдения (до и после ВУВ) соответствуют максимальной эффективности лечебного мероприятия, а их уменьшение требует дополнительной корректировки в лечебном воздействии [4]. Анализ динамики параметра  $z_{kf}$  в матрицах межаттракторных состояний позволяет оценивать количественную меру эффективности ВУВ в процессе лечения в разных контрольных точках наблюдения. Получаемые данные от группы обследуемых путём повторов измерений в виде набора  $m$  блоков данных (компартиментов), где  $m$  – общее число измеряемых диагностических признаков, переносят в виде точек в  $m$  – мерное фазовое пространство состояний (ФПС). В целом, группа больных (обследуемых) может образовывать кластер квазиаттракторов, который характеризуется своей матрицей  $z$  межаттракторных расстояний. Каждая такая матрица с набором квазиаттракторов  $V_{Gi}$  может представлять индивидуальный подход в оценке заболевания и это составляет новое направление в индивидуализированной медицине и экологии. Такие расчеты позволяют количественно оценивать качество и эффективность лечебных мероприятий по отношению к каждому пациенту.

В целом, ещё раз повторяем и подчёркиваем, что каждый такой квазиаттрактор имеет свои параметры: объем  $k$ -го квазиаттрактора  $V_g^k = \prod_{i=1}^m D_i^k$ , хаотический центр  $k$ -го квазиаттрактора  $X_c^k = (x_{1c}^k, x_{2c}^k, \dots, x_{mc}^k)^T$ , где  $x_{ic}^k = \frac{(x_{ic}^{k \max} + x_{ic}^{k \min})}{2}$ . Отдельно рассчитываются и координаты стохастического центра  $X_{is}^k = \sum_{i=1}^n \frac{x_{ij}^k}{m}$ , где  $x_{ij}^k$  – значение величины диагностического признака для  $j$ -го пациента (всего пациентов  $n$ ) по  $i$ -ой координате (всего  $m$  координат) из кластера  $k$  обследуемых групп (всего групп  $p$ ). Тогда, при изменении своего положения в ФПС квазиаттрактор формирует и свои матрицы межаттракторных расстояний  $Z$ , которые описывают динамику движения в ФПС исследуемого ВСОЧ, например, под действием хирургического вмешательства.

Все  $p$  объемов ( $k = 1, 2, \dots, p$ ) всех КА образуют вектор объемов КА  $V_g = (V_g^1, V_g^2, \dots, V_g^p)^T$ , где  $p$  – число кластеров (в нашем наблюдении для группы пациентов в контрольных точках наблюдения). Одновременно, для таких квазиаттракторов по определённому алгоритму рассчитываются матрицы расстояний  $Z = \{z_{kf}\}_{k,f=1, \dots, p}$  между центрами хаотических квазиаттракторов (между  $k$  – м и  $f$  – м квазиаттракторами в ФПС) по формуле  $Z_{kf}^c = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ic}^k - x_{ic}^f)^2}$ .

Аналогично определяется и матрица  $Z$  расстояний между статистическими центрами (статистическими математическими ожиданиями), т.е. по формуле  $Z_{kf}^s = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{is}^k - x_{is}^f)^2}$ . Эта матрица не учитывает процессы, происходящие на периферии, но она даёт информацию об изменениях в параметрах квазиаттракторов (в гипотезе неравномерного распределения). Точных методов идентификации хаоса пока не существует, поэтому высказывания о равномерности распределения  $x_i$  для ВСОЧ в ФПС является гипотезой.

Полученные расстояния между центрами  $k$ -го и  $f$ -го КА или статистическими центрами (статистическими математическими ожиданиями) количественно представляют степень близости (или, наоборот, удаленности) этих 2-х сравниваемых квазиаттракторов в фазовом пространстве состояний. Это является интегративной количественной мерой оценки эффективности применяемого лечебного воздействия. Если  $z_{kf}$  даёт наибольшее расстояние между КА (или статистическим центром при неравномерных распределениях) до и после введения лекарственного препарата или операционного воздействия в определенной точке контрольного наблюдения (например, для конкретного  $k$ -го воздействия в данной точке при контроле лечебного воздействия), то считается, что данное ВУВ является наиболее эффективным из всех исследуемых.

Оценку эффективности данного лечебного мероприятия (ВУВа) можно производить не только в рамках теории хаоса-самоорганизации но и на основе нейросете-

вых методов сравнения разных групп обследуемых. Такая задача может производиться в рамках решения задачи бинарной классификации с помощью нейроэмуляторов. Однако, научной школой медицинской кибернетики при СурГУ (В.М. Еськов и др., 1991-2013 была доказана неэффективность использования нейроэмуляторов для оценки параметров порядка (наиболее важных диагностических признаков) при идентификации различий между состояниями биомедицинской системы. Было доказано, что многократные повторения решения задачи бинарной классификации (разделения двух разных групп больных с помощью нейро-ЭВМ) не обеспечивают повторений в значениях весов диагностических признаков.

Каждый раз, когда при одинаковом наборе параметров ВСОЧ для двух разных групп испытуемых нейроэмулятор решает задачу бинарной классификации, то при положительном решении (группы разделяются) этой задачи набор весовых значений диагностических признаков изменяется, то есть возникает новый набор. Для решения задачи идентификации наиболее значимых (важнейших) признаков в научной школе проф. В.М. Еськова было предложено (и зарегистрировано в РОСАПО) две компьютерные программы (алгоритма). Один из этих алгоритмов и был использован в настоящей работе.

Этот алгоритм основан на многократном повторении процедуры запуска нейроэмулятора при одинаковых обучающих выборках в режиме хаотического задания начальных значений весовых коэффициентов. Оказалось, что повторение этой процедуры много тысяч раз обеспечивает получение вариационных рядов для каждого диагностического признака  $x_i$  от всего ВСОЧ. При этом в этих наборах весов  $x_i$  наблюдается определённая закономерность: нейросеть самостоятельно выделяет наиболее значимые  $x_i$ , они получают после ранжирования всех  $x_i$  путём статистической обработки данных.

Продемонстрируем на конкретном примере. Эффективность расчёта матриц  $Z$  для оценки особенностей женского и мужского

организма при хирургическом воздействии в разные сезоны года.

#### 4. Пример расчёта матриц сезонной динамики параметров организма хирургических больных.

Представим результаты расчёта матриц  $Z$  в оценке изменений параметров variability сердечного ритма для двух гендерных групп: группа женщин из 15-ти человек и группа мужчин, которые прошли хирургическое лечение в два разных сезона года. Первый сезон – это «осень – зима», и второй сезон «весна-лето» когда параметры регуляции ВНС более оптимальные, а выздоровление больных обычно протекает более эффективно (и с наименьшими осложнениями). В таблице 1 представлена матрица межаттракторных расстояний между стохастическими центрами квазиаттракторов у хирургических больных в осенне-зимнем и весенне-летнем сезонах года по параметрам variability сердечного ритма.

Из табл.1 следует, что наибольшее расстояние  $z_{ij}$  между центрами квазиаттракторов мы имеем для мужчин в осенне – зимний период. Суммарное значение этой строки равно  $\sum_{i=1}^n z_{ij} = 135,35 + 139,19 + 135,23 = 409,77$ . Ос-

тальные строки дают более низкие значения. Это означает, что именно мужчины в осенне-зимний период при развитии заболевания имеют особое состояние организма, которое отличается от состояния групп всех женщин в оба сезона и даже мужчин, но диагностирующихся в весенне-летней период. Подчеркнем, что эта последняя группа мужчин по параметрам ВСП существенно не отличается от состояния ВСП женщин в период как «осень-зима», так и в период «весна-лето». Для группы женщин, которые перенесли операцию в оба этих сезона года вообще величина  $z_{ij}$  существенно не изменяется. Все эти три группы (2-е группы женщин и одна группа мужчин в весенне-летний сезон) вообще укладывается в интервал от 3,11 единиц до 4,52 единиц. Это означает, что все эти три группы находятся вблизи одного общего объёма фазового пространства и существенно отличаются от группы мужчин (осень-зима).

Подобная динамика прослеживалась и по объёмам квазиаттракторов, когда группа мужчин в период «осень-зима» на два порядка отличалась от этих трёх групп. Очевидно, что тяжесть заболевания и состояние параметров ВНС будут находиться в определенной взаимосвязи, а наш метод показывает интегрально общность и различие в состоянии всех четырёх групп. Состояния ВНС будут существенно влиять на характер выздоровления, то есть на весь послеоперационный период. И это должно сказываться на тактике лечения. Ещё более разительные отличия мы имеем в параметрах хаотической динамики (в гипотезе равномерного распределения). Это представлено в табл. 2. Здесь сумма элементов первой строки вообще подходит к величине в полторы тысячи условных единиц ( $454,56+506,26+464,63=1425,45$  у.е.), что в три раза больше чем для групп из таблицы 1.

Однако и для трёх (в якобы благоприятные сезоны) групп величин  $z_{ij}$  составляют несколько десятков. При этом мужчины второй мужской группы (весенне-летний период) всё-таки отстают на большом расстоянии от женской группы периода «осень-зима» (55,47 у.е.), чем женщины осенне-зимнего периода. Первая группа женщин отстоит от женщин весенне-летнего периода на значительном расстоянии (42,95 у.е.). Наименьшее же расстояние  $z_{kf}$  мы имеем для группы мужчин второго сезона (весна-лето) и группы женщин второго сезона (весна-лето). Величина этого расстояния составляет 22,55 у.е. и оно минимальное во всей этой матрице. Схожий результат был и в статистике (3,11 у.е.), но там женщины этих двух групп продемонстрировали максимальное расстояние (4,48 у.е.) при сравнении этих трёх схожих по параметрам ВСП групп. В рамках теории хаоса-самоорганизации динамика поведения ВСОЧ более разительная и существенно отличается от динамики в стохастическом подходе.

В целом, хаотическая динамика более выразительная и более настораживающая не только для группы мужчин в осенне-зимний период, но и для остальных трёх

групп при их попарном сравнении. В хаосе величин  $z_{kf}$  в разы а иногда и на порядок больше, чем эти три группы в стохастике. Это демонстрирует то, что даже в благоприятный сезон года (относительно благоприятный) мы имеем значительный разброс параметров ВНС при индивидуальной оценке состояния ВНС, чем при их усреднении. Среднее значение ведут себя менее выразительно, чем при расчёте в рамках теории хаоса-самоорганизации. Квазиаттракторы более информативны

Расчёт матриц биохимических показателей крови показал менее резкое различие между мужчинами и женщинами в эти два сезона, но общая тенденция сохранилась. В частности, хаотическая динамика почти в 3 раза дает более значительные различия, чем стохастическая динамика. Если в стохастике по биохимии мы имеем сумму первой строки (мужчины в осенне-зимний период) менее 150 у.е. ( $44,14+49,88+57,46=151,48$  у.е.), то в хаосе-самоорганизации эта величина приближается к 500 у.е. ( $136,25+144,93+163,6=444,78$  у.е.). Это в три раза больше, чем в стохастике.

Динамика  $z_{kf}$  для трёх оставшихся групп в стохастике отличается от динамики ВСП, но в целом несколько подобна предыдущим значениям. В частности, если в стохастике группы женщин в период «осень-зима» и «весна-лето» имеют межаттракторное расстояние для женщин 8,6 у.е., то группа хирургических больных мужчин («весна-лето») состоит от группы больных женщин в этот же сезон на величину  $z=13,63$  у.е., а для группы женщин в сезон «осень-зима» всего на 7,19 у.е. Для ВСП динамика была противоположной, т.е. мы имели соответствующие цифры в виде: 4,48; 3,1 (минимум); 4,52 (максимум). Следует отметить, что эти различия невелики были для ВСП (интервал 3,1-4,52), но для биохимического статуса этих же больных в стохастике подобные различия более существенны (интервал 7,19-13,6, почти в 2 раза отличие).

Еще более различаются эти параметры в матрице расстояний хаотических КА относительно матрицы стохастических значений (табл.3). В табл. 4 мы имеем аналогичные расстояния для сравнения группы



женщин (больных в сезон «весна-лето» и «осень-зима») в виде 34,45 у.е. Для сравнимых групп «мужчины-женщины» для сезона «весна-лето» имеем  $z=30,31$ , а для разных сезонов (по этим же две разнополюсные группы имеем  $z=34,28$ ). Итак, в стохастике мы имеем набор: 8,6; 13,63; 7,13, то в хаосе мы имеем аналогичный набор в виде: (34,45; 30,31; 34,28), который имеет несколько другие максимумы и минимумы значений. Однако, именно для биохимического статуса все эти три группы различаются не очень существенно. В сравнении с параметрами ВСП (там интервал был равен (22,55; 55,47)), для биохимических показателей все колеблется в пределах 30-ти у.е. Таким образом, биохимический статус более инертен и менее выразителен в своих изменениях, чем изменения ВНС у всех четырех групп больных. Это можно отнести к особенностям биохимического кластера гомеостаза, который менее вариативен и более инертен в сравнении с нейровегетативным статусом. Колебания параметров ВСП более значительные и легко подвержены внешним возмущениям.

В рамках расчета матриц межаттракторных расстояний были выполнены исследования по сравнению функций организма плановых больных и экстренно поступивших на операцию. Традиционно считается, что благоприятный исход от операции может быть получен при плановом проведении операции, а экстренное и проведение должно усугублять тяжесть заболевания и особенно выздоровления. Поэтому были построены матрицы этих двух групп больных до операции и после. Эти исследования, как и в предыдущем случае мы проводили в рамках стохастики и расчета матриц хаотических квазиаттракторов. Рассмотрим результаты этих расчетов. Анализ первой матрицы (таблица 5) для стохастических расчетов показывает, что расстояния  $z_{12} = 61,92$  между группой плановых больных до операции и после значительно меньше, чем расстояние между квазиаттракторами этой же группы (плановыми до операции) с группой неплановых операций до операции ( $z_{13}=99,3$ ) и группы неплановых операций ( $z_{14}=138,43$ ).

Более того, что состояние уже прооперированных плановых больных после операции по параметрам ВСП менее значительно отличается от состояния внеплановых до операции ( $z_{23}=37,56$ ) но более значительно отличается от группы больных неплановых после операции ( $z_{24}=76,6$ ).

Создается впечатление, что уже прооперированные (но плановые) пациенты по состоянию ВСП приближаются к внеплановым до операции в то время как плановые до операции почти в 3 раза отстоят дальше от внеплановых до операции (99,3 у.е.) Такая динамика характеризует и уровень тревожности (опосредованно) и количественно показывает чем же плановые больные отличаются от внеплановых с позиций стохастического подхода.

В рамках ТХС динамика резко отличается и она более показательна, т.е. это говорит о том, что отдельные больные испытывают сильный дискомфорт и имеют существенные отклонения от средних значений. В частности, если для плановых больных отличия в стохастике и в хаосе невелики (61,92 против 74,88), то различия при сравнении с внеплановыми (до  $z_{13}=465,2$  и после операции  $z_{14}=579,48$ ) весьма значительны (почти критичные). Даже плановые после операции в ТХС в сравнении с неплановыми (в ТХС) большие межаттракторные расстояния (до  $z_{23}=390,48$  и после операции  $z_{24}=504,69$ ).

Такие результаты говорят об очень существенных различиях между плановыми и внеплановыми в рамках хаотического (а значит и индивидуальными) подхода. Особая динамика  $z_{ij}$  для внеплановых больных в возможности выхода параметров ВСП далеко за 3-сигмы, что требует индивидуализации в подходах. Особое внимание следует обратить на больных, которые находятся далеко от центра межаттракторных расстояний. К таким больным нужен особый подход. Еще более разительную динамику в рамках ТХС мы имеем для параметров биохимических показателей крови.

### Заключение

1. Алгоритмы расчета объемов квазиаттракторов демонстрируют высокую ре-

зультативность параметров квазиаттракторов (их объемов) как при анализе сезонных изменений параметров ВСП, так и при анализе биохимических показателей всех четырех групп оперируемых больных в два сезона по две группы- мужчины и женщины).

2. Матрицы квазиаттракторов для оценки в рамках стохастики и в рамках теории хаоса-самоорганизации дают некоторую скоррелированную динамику изменений межаттракторных расстояний  $Z_{ij}$  (коэффициент корреляции элементов таблицы 1 и таблицы 2 довольно высок) Однако, матрицы хаотических квазиаттракторов более информативны и выразительны, они обеспечивают индивидуальный подход в оценке хирургического лечения.

#### Литература

1. Еськов В.М., Буров И.В., Филатова О.Е., Хадарцев А.А. Основы биоинформационного анализа динамики микрохаотического поведения биосистем // Вестник новых медицинских технологий. – 2012. – Т. XIX, №1. – С. 15-18.
2. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Филатов М.А. Complexity – особый тип биомедицинских и социальных систем // Вестник новых медицинских технологий. – 2013. – Т. XX, №1. – С. 17-22.
3. Скупченко В.В., Милюдин Е.С. Фазотонный гомеостаз и врачевание. Монография. – Самара, Самарский государственный медицинский университет, 1994. – 256 с.
4. Скупченко В. В., Балаклеец Р. М. Особенности структурно-функциональной организации двигательной системы и синдромы поражения / Самара: СамГМУ. – 1998. – 48 с.
5. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states // Measurement Techniques (Medical and Biological Measurements). 2011. – v. 53 (12), p. 1404-1410.
6. Eskov V.M., Eskov V.V., Braginskii M.Ya., Pashnin A.S. Determination of the degree of synergism of the human cardi-

orespiratory system under conditions of physical effort // Measurement Techniques (Medical and Biological Measurements). 2011. – v. 54 (7), p. 832-837.

7. Eskov V. M., Gavrilenko T. V., Kozlova V. V., Filatov M. A.. Measurement of the dynamic parameters of microchaos in the behavior of living biosystems // Measurement Techniques. 2012. – Vol. 55. №. 9. – p. 1096-1100.
8. Eskov V. M, Eskov V.V., Filatova O.E., Filatov M.A. Two types of systems and three types of paradigms in systems philosophy and system science // Journal of Biomedical Science and Engineering. – 2012. – Vol. 5, №. 10. – P. 602-607.
9. Fleishman A.N., Karpenko S.V., Kleshchenogov S.A. Limited cycles of heart rate variability: formation, clinical and psychophysiological interpretation // SCTPLS Newsletter, April 2013. – №3. – P. 8-11.

#### CALCULATION OF QUASI-ATTRACTOR PARAMETERS IN ASSESSMENT OF BODY STATE VECTOR DYNAMICS IN SURGICAL PATIENT

*Eskov V.V., Dudin N.A., Burykin Y.G., Filatova O.E., Khimikov A.V.*

*Surgut State University, Surgut*

#### **Abstract**

*Qualitative identification of parasympathotonic and sympathotonic (tonic and phasic) homeostasis states in surgical patients is the serious problem for surgery. Therefore, the new bioinformation methods for quantitative evaluation of post-operative period and data proceeding of a patient state before operation and during rehabilitation period are required to evaluate the treatment.*

**Keywords:** *neurovegetative status, sympathotony, parasympathotony.*

Таблица 1

Матрица межаттракторных расстояний между стохастическими центрами квазиаттракторов у хирургических больных в осенне-зимнем и весенне-летнем сезонах года по параметрам вариабельности сердечного ритма.

	Осенне-зимний период (муж, n=15)	Весенне-летний период (муж, n=15)	Осенне-зимний период (жен, n=15)	Весенне-летний период (жен, n=15)
Осенне-зимний период (муж, n=15)	0.00	135.35	139.19	135.23
Весенне-летний период (муж, n=15)	135.35	0.00	4.52	3.11
Осенне-зимний период (жен, n=15)	139.19	4.52	0.00	4.48
Весенне-летний период (жен, n=15)	135.23	3.11	4.48	0.00

Таблица 2

Матрица межаттракторных расстояний между центрами хаотических квазиаттракторов у хирургических больных в осенне-зимнем и весенне-летнем сезонах года по параметрам вариабельности сердечного ритма.

	Осенне-зимний период (муж, n=15)	Весенне-летний период (муж, n=15)	Осенне-зимний период (жен, n=15)	Весенне-летний период (жен, n=15)
Осенне-зимний период (муж, n=15)	0,00	454,56	506,26	464,63
Весенне-летний период (муж, n=15)	454,56	0,00	55,47	22,55
Осенне-зимний период (жен, n=15)	506,26	55,47	0,00	42,95
Весенне-летний период (жен, n=15)	464,63	22,55	42,95	0,00

Таблица 3

Матрица межаттракторных расстояний между стохастическими центрами квазиаттракторов у хирургических больных в осенне-зимнем и весенне-летнем сезонах года по параметрам биохимического статуса крови

	Осенне-зимний период (муж, n=15)	Весенне-летний период (муж, n=15)	Осенне-зимний период (жен, n=15)	Весенне-летний период (жен, n=15)
Осенне-зимний период (муж, n=15)	0.00	44.1407	49.8765	57.4609
Весенне-летний период (муж, n=15)	44.1407	0.00	7.1936	13.6251
Осенне-зимний период (жен, n=15)	49.8765	7.1936	0.00	8.5989
Весенне-летний период (жен, n=15)	57.4609	13.6251	8.5989	0.00

Таблица 4

Матрица межаттракторных расстояний между геометрическими центрами квазиаттракторов у хирургических больных в осенне-зимнем и весенне-летнем сезонах года по параметрам биохимического статуса крови.

	Осенне-зимний период (муж, n=15)	Весенне-летний период (муж, n=15)	Осенне-зимний период (жен, n=15)	Весенне-летний период (жен, n=15)
Осенне-зимний период (муж, n=15)	0.00	136,2512	144,9256	163,5991
Весенне-летний период (муж, n=15)	136,2512	0,00	34,2777	30,3061
Осенне-зимний период (жен, n=15)	144,9256	34,2777	0,00	34,4491
Весенне-летний период (жен, n=15)	163,5991	30,3061	34,4491	0,00

Таблица 5

Матрица межаттракторных расстояний между стохастическими центрами квазиаттракторов у хирургических больных с плановой и экстренными операциями по параметрам вариальности сердечного ритма.

	Плановые до операции (n=40)	Плановые после операции (n=40)	Экстренные до операции (n=40)	Экстренные после операции (n=40)
Плановые до операции (n=40)	0,00	61,9207	99,2977	138,4261
Плановые после операции (n=40)	61,9207	0,00	37,5634	76,6020
Экстренные до операции (n=40)	99,2977	37,5634	0,00	39,2322
Экстренные после операции (n=40)	138,4261	76,6020	39,2322	0,00

Таблица 6

Матрица межаттракторных расстояний между геометрическими центрами квазиаттракторов у хирургических больных с плановой и экстренными операциями по параметрам вариальности сердечного ритма.

	Плановые до операции (n=40)	Плановые после операции (n=40)	Экстренные до операции (n=40)	Экстренные после операции (n=40)
Плановые до операции (n=40)	0.00	74.8799	465.2016	579.4849
Плановые после операции (n=40)	74.8799	0.00	390.4824	504.6912
Экстренные до операции (n=40)	465.2016	390.4824	0.00	115.1901
Экстренные после операции (n=40)	579.4849	504.6912	115.1901	0.00