

УДК 612.89(543.21)

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА В УСЛОВИЯХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК МЕТОДОМ РАСЧЕТА МАТРИЦ МЕЖАТТРАКТОРНЫХ РАССТОЯНИЙ

Майстренко Е.В.

ГОУ ВПО «Сургутский государственный университет Ханты-Мансийского автономного округа – Югры», Сургут, e-mail: mev2670@mail.ru

Излагается метод расчета расстояний между центрами 2-х сравниваемых квазиаттракторов в фазовом пространстве состояний организма человека, что может являться интегративной мерой оценки эффективности лечебного, физкультурно-спортивного воздействия, а также мерой оценки адаптационных возможностей организма.

Ключевые слова: вектор состояния организма человека, квазиаттрактор, вегетативная нервная система, сердечно-сосудистая система, фазовое пространство

ASSESSMENT OF ORGANISM FUNCTIONAL STATE IN CONDITIONS OF EXERCISE STRESS BY METHOD OF CALCULATING OF INTERATTRACTIVE DISTANCES MATRIX

Maystrenko E.V.

Surgut State University Hanti-Mansiiskii autonomous region –Ugra, Surgut, e-mail: mev2670@mail.ru

Method of analysis of distances between the centers of two compared quasiattractors in phase space of human organism is set out. That may be integrative measure of assessment of effectiveness of medical and physical-sporting influence, and measure of assessment of adaptive ability of organism.

Keywords: state vector of human organism, quasiattractor, vegetative nervous system, cardiovascular system, phase space

В настоящее время в медицине и в физиологии спорта оценка эффективности проводимых лечебных или физкультурных воздействий производится по характеру изменения отдельных диагностических (физиологических) признаков, характеризующих определенную нозологическую единицу, в рамках измерения некоторых статистических показателей (статистического среднеквадратичного отклонения, статистического математического ожидания и т.д.). Например, такой подход осуществляется при оценке состояния пациента путем определения диагностического показателя variability сердечного ритма, среднеквадратичного отклонения длительности межсистолических интервалов в рамках стандартной процедуры статистической обработки медицинских данных [1]. При этом используют только отдельные показатели сердечно-сосудистой системы (ССС) пациента, которые обрабатываются традиционными методами математической статистики и не учитывают изменчивость параметров вектора состояния организма человека (ВСОЧ) по всем возможным диагностическим признакам в фазовом пространстве состояний (ФПС) [3, 4].

Поэтому одной из множества научных проблем, интересующих специалистов биологического профиля, является оценка функционального состояния организма и его адаптационных резервов к различного

рода воздействиям, в том числе и к физическим нагрузкам. В связи с этим возникает необходимость внедрения в биомедицинскую практику современных системных методов для изучения функционального состояния сердечно-сосудистой и вегетативной нервной систем человека. В лаборатории биофизики и нейрокибернетики при Сургутском государственном университете (г. Сургут) разработаны новые методы анализа состояния функциональных систем организма человека при различных условиях: в покое, в ответ на действие физических нагрузок, в ходе лечения лекарственными препаратами и т.д. [3, 4]. Разработанные методы могут быть использованы для корректировки и определения эффективности физкультурно-спортивных мероприятий, при проведении лечебных воздействий или при переходе пациента от патогенеза к саногенезу и т.п. В связи с этим весьма существенной является возможность количественного определения влияния на пациента лечебного или спортивно-физкультурного мероприятия на базе измерения расстояний между центрами квазиаттракторов в многомерных фазовых пространствах с более высокой достоверностью, интегративностью и возможностью реализации в скрининг диагностике.

Суть разработанного метода заключается в том, что физкультурные или лечебные воздействия нескольких видов (типов) проводят в отношении групп испытуемых (па-

циентов), находящихся в приблизительно одинаковых условиях по состоянию функций организма (например, группы людей с одинаковыми нозологическими единицами) и регистрируют параметры функций организма каждого человека из группы до воздействия и после воздействия. Эти параметры образуют наборы (компарменты) диагностических признаков в пределах одной фазовой координаты x_i – из набора всех координат m -мерного фазового пространства с одинаковыми диагностическими характеристиками, а каждый человек со своим набором признаков (компоненты вектора состояния организма данного человека) задается точкой в этом фазовом пространстве состояний так, что группа испытуемых образует некоторое «облако» (квазиаттрактор – КА) в фазовом пространстве состояний, а разные группы образуют разные «облака» – квазиаттракторы в ФПС и расстояния Z_{kf} (здесь k и f – номера групп обследуемых) между хаотическими или стохастическими центрами этих разных квазиаттракторов формируют матрицу Z , которая задает все возможные расстояния между хаотическими или стохастическими центрами квазиаттракторов, описывающих состояние разных групп обследуемых до начала лечебного (или физкультурного) воздействия (нумеруются по вертикали, например в такой матрице Z) и после лечебного (физкультурного) воздействия (нумеруются по горизонтали в матрице Z). Причем максимальные различия в расстояниях между хаотическими или стохастическими центрами квазиаттракторов z_{kf} движения ВСОЧ разных групп испытуемых (до и после определенного воздействия) соответствуют максимальной эффективности лечебного или физкультурно-спортивного мероприятия, а их уменьшение требует дополнительной корректировки в лечебном (или физкультурном) воздействии.

Получаемые данные от группы пациентов или от одного пациента путем повторов измерений в виде набора m блоков данных (компарментов), где m – число измеряемых диагностических признаков, переносят в виде точек в m -мерное фазовое пространство состояний.

Данный метод используется для групповых сравнений, когда имеется несколько кластеров данных (каждый кластер для каждой группы обследуемых, или для каждого типа воздействий на группы обследуемых), и эти кластеры описываются своим вектором состояния организма человека (ВСОЧ), входящего в обследуемую k -ю группу в виде

$$x^k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_m^k),$$

где $i = 1, 2, \dots, m$ – номер диагностического признака (параметра организма обследуемого), а k – номер кластера (номер группы испытуемых или номер конкретного воздействия – лекарства, физического упражнения и т.д., т.е. $k = 1, 2, \dots, p$). При этом для каждого вектора x^k в одном и том же фазовом пространстве состояний размерностью m имеются одинаковые наборы компонент (диагностических признаков) x_i^k , которые, в свою очередь, имеют наборы (общим числом n , где n – число пациентов в группе, а j – номер пациента в группе, $j = 1, 2, \dots, n$) конкретных множеств значений самих диагностических признаков по каждой из координат x_i^k , которые описывают состояние каждого (f -го) пациента (из кластера k) в виде точек на соответствующих i -х осях в m -мерном фазовом пространстве состояний. Таким образом, каждая группа обследуемых на i -й оси x_i имеет свою совокупность точек, из которой выделяются крайне левые координаты ($x_{i\min}^k$) и крайне правые координаты ($x_{i\max}^k$). Разность этих величин ($x_{i\max}^k - x_{i\min}^k = D_i^k$) образует отрезок в ФПС, а совокупность для k -й группы обследуемых всех отрезков (граней) в m -мерном фазовом пространстве образует m -мерный параллелепипед, который представляет в ФПС определенный квазиаттрактор, внутри которого движется ВСОЧ (всех обследуемых, составляющих определенную группу или на которых действуют определенным типом воздействия). 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 $x_{ic}^k = \frac{(x_{ic\max}^k + x_{ic\min}^k)}{2}$ (или координаты

стохастического центра $x_{is}^k = \sum_{j=1}^n \frac{x_{ij}^k}{m}$, где

x_{ij}^k – значение величины диагностического признака для j -го пациента по i -й координате из кластера обследуемых групп) и свое положение в ФПС. Все p объемов ($k = 1, 2, \dots, p$) всех КА образуют вектор объемов КА $V_g = (V_g^{12}, V_g^{\dots}, V_g^{pT})$, где p – число кластеров (групп пациентов, видов лечебного воздействия или видов физических нагрузок), для которых (объемов КА) рассчитывается матрица расстояний $Z = \{z_{kf}\}_{k,f=1,\dots,p}$ между центрами хаотических квазиаттракторов

(между k -м и f -м квазиаттракторами в ФПС) по формуле

$$z_{kf} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ic}^k - x_{ic}^f)^2},$$

т.е. берется разность между соответствующими координатами центра f -го квазиаттрактора (x_{ic}^k) и j -го квазиаттрактора, возводится в квадрат, суммируется по всем i -м и из полученной суммы извлекается квадратный корень. Аналогично считается и матрица Z расстояний между статистическими центрами (статистическими математическими ожиданиями), т.е.

$$z_{kf} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{is}^k - x_{is}^f)^2}.$$

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, что является интегративной мерой оценки эффективности лечебного или физкультурно-спортивного воздействия. Если z_{kf} дает наибольшее расстояние между КА (или статистическими центрами при неравномерных распределениях) до и после воздействия, например, для конкретного k -го физкультурно-спортивного воздействия, из общего набора p воздействий, действующих на приблизительно одинаковую группу испытуемых при переборе всех f ($f = 1, 2, \dots, p$) и $k \neq f$, то это k -е воздействие считается наиболее эффективным из всех p воздействий.

Действие регулярных физических упражнений на функциональные системы организма (ФСО) разных по силе и длительности сопровождаются разной физической активностью, в процессе тренировок, в частности, спортивной подготовки студентов учебных учреждений. В зависимости от уровня физической подготовленности были сформированы две группы обследуемых: 1-я – студенты, имеющие квалификацию не ниже 1 разряда в разных видах спорта; 2-я – студенты, занимающиеся плаванием, но не имеющие спортивного разряда. Для выявления гендерных особенностей реагирования организма в процессе занятий плаванием анализировались показатели, полученные при обследовании 53 девушек и 63 юношей.

Состояние параметров ССС оценивали до, сразу и через 15 минут после физической нагрузки по компонентам вектора состояния организма человека (ВСОЧ), определяемых методом пульсоксиметрии с использованием программы «ELOGRAPH».

У испытуемых регистрировали значения частоты сердечных сокращений (ЧСС), показателей СИМ и ПАР, соответственно отражающих активность симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы (ВНС), индекса напряжения Баевского (ИНБ) и уровень насыщения гемоглобина крови кислородом (SPO₂). Производился также амплитудно-частотный анализ variability ритма ЧСС.

Согласно результатам исследования, был установлен ряд особенностей параметров квазиаттракторов движения ВСОЧ в математической модели m -мерного ФПС у студентов элективного курса плавания и у студентов-спортсменов. Сравнение результатов идентификации расстояний z_{ij} между центрами хаотических квазиаттракторов вектора состояния организма юношей спортсменов и нетренированных юношей, нерегулярно занимающихся спортом до, после и через 15 минут после предъявления динамической нагрузки плаванием в 5-мерном фазовом пространстве рассматривается в таблице.

Результаты идентификации расстояний z_{ij} между центрами хаотических квазиаттракторов вектора состояния организма юношей спортсменов (занимающихся разными видами спорта) и нетренированных юношей (нерегулярно занимающихся спортом) до, после и через 15 мин после предъявления динамической нагрузки плаванием в 5-мерном фазовом пространстве

		Юноши спортсмены		
		до	после	через 15 мин
Нетренированные юноши	до	6,47	295,39	55,08
	после	552,77	253,16	494,59
	через 15 мин	201,24	99,36	142,19

В таблице представлена матрица с показателями юношей спортсменов и нетренированных. Из таблицы видно, что рассматриваемые 2 группы студентов до нагрузки имеют несущественные различия в показателях ФСО. Нагрузка существенно влияет на ФСО как спортсменов, так и нетренированных.

Расчет расстояний z_{ij} между центрами хаотических квазиаттракторов показал, что наибольший параметр z_{ij} отмечается при сравнении юношей спортсменов до предъявления нагрузки и нетренированных юношей после полученной нагрузки и составляет 552,77. Большое расстояние $z_i - 494,59$ между центрами квазиаттракторов наблю-

дается также при сравнении групп нетренированных юношей после полученной нагрузки и юношей-спортсменов через 15 минут после нагрузки. Эти результаты также подтверждают, что реакция организма нетренированных юношей на нагрузку более выраженная и для возвращения в состояние «до нагрузочного» требуется больше времени, чем юношам спортсменам. Величины z_{gr} , равные 253,16 (спортсмены и нетренированные после нагрузки) и 142,19 (спортсмены и нетренированные через 15 мин), могут свидетельствовать о том, что большая разница в реагировании на нагрузку в рассматриваемых группах студентов наблюдается на этапе воздействия нагрузки и сразу после неё, и уже в меньшей степени эта разница проявляется при восстановлении.

Метод расчета матриц межаттракторных расстояний предоставляет исследователям точную количественную оценку адаптационных резервов организма человека. У тренированных студентов, в сравнении с нетренированными, обеспечивается достаточно хорошее восстановление организма после нагрузки, вероятно, за счет отработанных адаптационных механизмов. Полученные данные свидетельствуют о том, что эффективность адаптации организма к нагрузке определяется зрелостью регуляторных систем, в связи с чем один и тот же конечный приспособительный результат у студентов с разным уровнем физической

подготовки может быть достигнут за счет различной степени напряжения адаптационных механизмов организма.

Список литературы

1. Баевский Р.М. Анализ variability сердечного ритма в космической физиологии // Физиология человека. – 2002. – Т. 28, № 2. – С. 70–82.
2. Новые подходы в теоретической биологии и медицине на базе теории хаоса и синергетики / В.М. Еськов [и др.]. // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2006. – Т.5, № 3 – С. 617–622.
3. Системный анализ, управление и обработка информации в биологии и медицине. Часть VII. Синергетический компартментно-кластерный анализ и синтез динамики поведения вектора состояния организма человека на Севере РФ в условиях саногенеза и патогенеза: монография / под ред. А.А. Хадарцева, В.М. Еськова. – Самара: Офорт (гриф РАН), 2008. – 159 с.

Рецензенты:

Живогляд Р.Н., д.м.н., профессор кафедры морфологии ГОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО-Югры», г. Сургут;

Нифонтова О.Л., д.б.н., доцент, зав. кафедрой медико-биологических дисциплин и безопасности жизнедеятельности ГОУ ВПО ХМАО-Югры «Сургутский государственный педагогический университет», г. Сургут;

Ермолаев Д.О., д.м.н., профессор кафедры уголовно-правовых дисциплин Филиала ГОУ ВПО «Саратовская государственная академия права», г. Астрахань.

Работа поступила в редакцию 15.03.2011.