

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ ОЦЕНКЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СПОРТСМЕНОВ

Резюме. Обгрунтовано необхідність підвищення ефективності лікарського контролю за станом здоров'я спортсменів на основі аналізу біоритмів функцій організму шляхом використання фрактального аналізу серцевого ритму. Описано методику дослідження. Проаналізовано показники фрактального аналізу серцевого ритму при деяких відхиленнях у стані здоров'я спортсменів. Показники фрактального аналізу серцевого ритму, тобто ступінь стохастичності діяльності системи, можуть слугувати прогностичним критерієм стану здоров'я спортсмена, а отже — його спортивного результату.

Summary. The importance of increasing the efficiency of medical control as for sportsmen health state in terms of functions biorhythms analysis by means of cardiorythm fractal analysis (FACR) application has been grounded in the review article. The method of study has been described. FACR indices in case of certain abnormalities in sportsmen health state have been analyzed. FACR indices i.e. system activity variability degree can serve as a criterion to prognose sportsman health and accordingly his sports result.

Постановка проблемы. Основная проблема спортивной медицины — оценка состояния здоровья спортсмена с целью допуска к учебно-тренировочному процессу и соревнованиям, обоснованного выбора программы реабилитационных мероприятий и контроля оптимальности их проведения.

Используемые для решения этой проблемы тесты медико-биологического контроля достаточно информативны, но имеют ограничения, особенно в области прогнозирования здоровья спортсмена. По мнению некоторых исследователей [1—3, 6], нельзя судить по отдельным показателям о готовности спортсмена к выполнению тренировочных и соревновательных нагрузок. Это связано с тем, что в спорте высших достижений для спортсмена “нормально” иметь отклонения от “нормы”, а выход отдельных показателей за границы “нормы” трактуется как “плата за адаптацию” [1]. До сегодняшнего дня остается загадкой способность некоторых спортсменов показывать высокие результаты при грубых нарушениях ЭКГ [2].

Следовательно, одна из важнейших задач врача — интерпретация полученных данных обследования спортсмена и дифференциация собственно патологических изменений на электрокардиограмме (нарушения образования и проведения импульса, процессов реполяризации и т.п.) от изменений вследствие напряжения адаптационно-приспособительных процессов в результате нарушения спортивного режима или чрезмерной тренировочной и соревновательной нагрузок. Следует учесть, что диагностика предпатологических состояний сердечно-сосудистой системы затруднена из-за позднего отображения изменений функции сердца на ЭКГ, а трактовка некоторых изменений на кардиограмме при этом неоднозначна. [2, 3]. С целью предотвращения срыва адаптационно-приспособительных процессов и ранней диагностики предпатологических и патологических состояний необходимо контролировать функциональное состояние спортсменов и использовать прогностические признаки. Одним из таких прогностических критериев оценки состояния здоровья является характер биоритмов.

Биоритмы — временная организация жизни, одна из важнейших характеристик здоровья. У здорового индивидуума обнаруживается сложная мозаика ритмов в различных системах организма. Эти ритмы редко обладают строгой периодичностью. Количественные исследования таких ритмических процессов, как сердцебиение и дыхание, свидетельствуют о гораздо более сильных флуктуациях, чем можно было ожидать исходя из привычных представлений [5]. Нор-

мальные флуктуации частоты сердечных сокращений, в частности, связаны с хаосом. Хаос, формирующийся во время нелинейных процессов, называется детерминистским хаосом. Хаотическое поведение системы демонстрируют тонкие геометрические структуры — фракталы, которые отражают на плоскости или в пространстве (экран монитора) случайность. Фрактальное строение органов, систем и хаотическая природа их нормального функционирования позволяют сделать вывод, что биологические системы подчиняются законам строения и функционирования детерминистских хаотических процессов, что, в свою очередь, дает возможность прогнозировать поведение системы. Поэтому изучение волновых процессов биосистемы с целью прогноза ее состояния методом фракталов обоснованно.

Фрактал, согласно Бенуа Мандельброту (1983), состоит из фрагментов различного размера и ориентации, но аналогичных по форме. При анализе фрактальных объектов в различных масштабах измерений можно отметить, что они являют собой рисунок, повторяющийся на различных уровнях. Таким образом, одна и та же структура наблюдается в любом масштабе. Фрактальный объект может выглядеть совершенно одинаково независимо от того, регистрируем мы его в метровом, дециметровом или миллиметровом масштабе, следовательно фрактальным объектом является объект, обладающий свойством самоподобия (Лейбниц: “все в одном, одно во всем”).

Сердечный ритм как наиболее доступный маркер ритма биологической функции представляет собой типичную фрактальную структуру и наряду со многими другими физиологическими процессами человека, управляемыми нервной системой, находится в состоянии динамического детерминистского хаоса, поддерживая здоровье и жизнь человека. Голдбергер и Ригни рассматривают остановку сердца как бифуркацию от фрактальной, хаотической динамики нормальных сердцебиений к патологическим ритмам умирающего сердца [21].

Механизм, который может порождать чрезвычайно сложную и, возможно, хаотическую динамику в системах физиологического регулирования в норме, состоит во взаимодействии между множественными петлями обратной связи, регулируемыми единственную переменную. Переходное состояние между стабильностью, периодическим и хаотическим поведением различных физиологических систем является основой значительного числа физиологических расстройств и патологических состояний, которые некоторые

исследователи именуют “динамическими” болезнями [5].

Применение фрактального анализа в клинике выявило прогностическую значимость метода: чем больше проявления детерминистского хаоса, тем оптимальнее функционирует система [4]. Исследование хаотической динамики сердечного ритма путем определения меры регулярности этого процесса на основе применения метода фрактального анализа позволит врачу спортивной медицины прогнозировать динамику состояния здоровья спортсмена, выявлять его нарушения на раннем этапе развития. Информация, полученная при фрактальном анализе, имеет количественный и качественный характер. Количественным показателем является индекс Херста (индекс самоподобия или инвариантности системы) [20]. Чем больше степень самоподобия в стохастичности деятельности системы, тем ближе индекс Херста к 1,0, что свидетельствует об оптимальности функционирования биосистемы в целом. Качественным показателем фрактального анализа является аттрактор — графическое отображение поведения системы на плоскости на протяжении длительного времени. Осуществляя мониторинг стохастичности деятельности системы при текущем и этапном контроле, можно сделать заключение, в какую сторону движется система — оптимизации или дисфункции [1].

Цель исследования — повысить эффективность врачебного контроля за состоянием здоровья спортсменов на основе анализа биоритмов путем применения фрактального анализа сердечного ритма.

Методы и организация исследования. Обследовано 50 спортсменов высокого уровня квалификации (МСМК, МС, КМС). По видам спорта они распределились следующим образом:

Гандбол	12
Волейбол	14
Баскетбол	10
Регби	4
Академическая гребля	2
Легкая атлетика	4
Теннис	4

Исследование проводится с использованием компьютерной системы трехканального управляемого физиологического эксперимента с автоматической записью показателей “Ведун” (А.А. Снарский). Регистрация ЭКГ производилась в I и II отведении на кардиомониторе, а качество записи ЭКГ оценивалось с помощью 21-канального АЦП в реальном времени с четырехканальным контро-

Показатели фрактальной структуры сердечного ритма у спортсменов высокой квалификации

Группа спортсменов	Индекс Херста $X \pm m$	Характер аттрактора
С нормальной кардиограммой	$0,8333 \pm 0,0079$	Широкая конфигурация и малая плотность
С симптомами ОРВИ и нормальной кардиограммой	$0,6419 \pm 0,0153$	Узкая конфигурация и высокая плотность
С пролапсом митрального клапана гемодинамически незначимым и нормальной кардиограммой	$0,6877 \pm 0,0188$	Узкая конфигурация и увеличение плотности
С признаками нарушения процесса реполяризации миокарда на кардиограмме	$0,7889 \pm 0,0135$	Достаточно широкая конфигурация и средняя плотность
С аритмиями с латентными водителями ритма	$0,7571 \pm 0,0129$	Достаточно широкая конфигурация и средняя плотность
Контрольная группа: здоровые не занимающиеся спортом (по данным литературы) [12]	$0,7822 \pm 0,009$	Достаточно широкая конфигурация и малая плотность

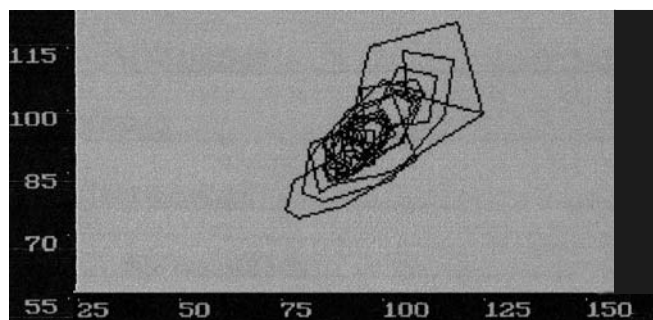
лем оцифрованного сигнала на мониторе, возможностью управления обратной связью с объектом при скорости обмена 0,002 с. С этой целью на входе выбирается до 16 каналов и 3 канала обратной связи, задается частота дискретизации (до 400 Гц по каждому каналу), автоматически записывается дата, протокол исследования, паспортные данные и антропометрические показатели обследуемого спортсмена. Затем полученные с любого канала результаты обрабатываются методом фракталов и статистическими методами с построением гистограмм распределения. Запись ЭКГ и последующая обработка данных методом фракталов проводится в покое, во время функциональной пробы с 25-секундной задержкой дыхания на выдохе и на третьей минуте восстановления. Для анализа фракталов сердечного ритма использовались индекс Херста (индекс самоподобия колебаний сердечного ритма), визуальная оценка конфигурации и плотности аттрактора. Была выделена малая, средняя и высокая плотность аттрактора, а также его широкая и узкая конфигурация. Об оптимальности функционирования биосистемы в целом свидетельствует вы-

сокая степень самоподобия в стохастичности деятельности системы или приближение индекса Херста к 1,0, а также широкая конфигурация и малая плотность аттрактора. О движении системы в сторону дисфункции свидетельствует высокая плотность аттрактора, уменьшение его конфигурации и низкий индекс Херста (рисунок).

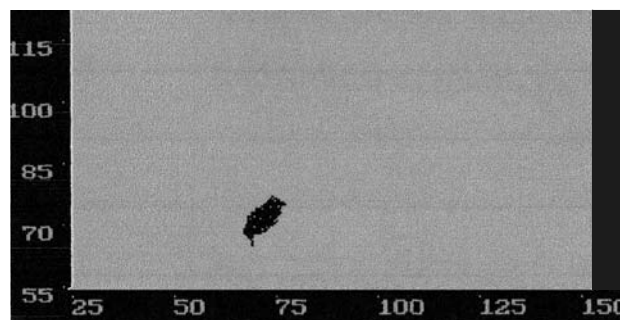
Результаты исследования и их обсуждение. Данные фрактального анализа сердечного ритма обследуемой группы спортсменов представлены в таблице.

В группе здоровых спортсменов с нормальной кардиограммой сердечный ритм характеризуется "хаосом". Хотя неоднородность спортивной квалификации в этой группе определяет такое среднее значение степени самоподобия фрактальных структур сердечного ритма (см. таблицу), но характер аттрактора с его малой плотностью, широкой конфигурацией и достаточно высоким индексом Херста свидетельствуют об оптимальном функционировании организма спортсменов в целом.

В группе спортсменов с симптомами ОРВИ и нормальной кардиограммой сердечный ритм ха-



а



б

Фрактальные структуры сердечного ритма: а — с нормальной ЭКГ (индекс Херста 0,8631); б — с пролапсом митрального клапана II степени гемодинамически незначимым, с нормальной ЭКГ (индекс Херста 0,6847)

характеризуется периодичностью. Отмечается сужение конфигурации аттрактора, его уплотнение и уменьшение индекса Херста, что свидетельствует о напряжении функционирования системы.

В группе спортсменов с пролапсом митрального клапана гемодинамически незначимым по данным эхокардиографии и нормальной кардиограммой наблюдается сужение конфигурации и увеличение плотности аттрактора (см. рисунок), а также уменьшение степени самоподобия фрактальных структур сердечного ритма.

В группе спортсменов с нарушениями процессов реполяризации миокарда и аритмиями с латентными водителями ритма по данным электрокардиографии встречается как достаточно высокий уровень Херста, так и его понижение, что, на наш взгляд, указывает на различие в состоянии функций спортсменов. При сравнении показателей фрактального анализа сердечного ритма спортсменов высокой квалификации с показателями фрактального анализа молодых здоровых людей, не занимающихся спортом, наблюдается увеличение индекса Херста по мере совершенствования функций организма в процессе тренировочной деятельности.

Выводы

- Сравнение данных фрактального анализа сердечного ритма спортсменов высокого класса с аналогичными данными молодых здоровых людей, не занимающихся спортом, указывает на увеличение степени самоподобия фрактальной структуры сердечного ритма.

- Отклонения в состоянии здоровья спортсменов (ОРВИ, ПМК, нарушение процесса реполяризации и др.) закономерно приводят к изменению фрактальной структуры сердечного ритма (уменьшению индекса Херста, уплотнению аттрактора, уменьшению его размерности).

- Группа спортсменов с признаками нарушения процесса реполяризации миокарда и аритмиями с латентными водителями ритма по данным электрокардиографии является неоднородной. В ней встречаются как спортсмены с высоким индексом Херста, так и с его понижением. Это указывает на различие в состоянии функций организма спортсменов.

- Показатели фрактального анализа сердечного ритма, т.е. степень стохастичности деятель-

ности системы могут служить критерием прогнозирования здоровья, характеризующим характер биоритмов функций. Метод фрактального анализа биосистем может быть использован с целью оценки и прогнозирования функционального состояния спортсменов при текущем и этапном контроле, а также для интегральной характеристики организма в целом. При медико-биологическом мониторинге применение метода фрактального анализа позволят врачу более точно интерпретировать данные обследования спортсмена.

1. *Апанасенко Г.Л.* Здоровье спортсмена // Наука в олимпийском спорте. — 2000. — № 1. — С. 15—18.
2. *Бутченко Л.А.* ЭКГ в спортивной медицине — Л.: Медгиз, 1963. — 224 с.
3. *Власов В.В.* Эффективность диагностических исследований — М.: Медицина, 1988. — 256 с.
4. *Голдбергер Э., Ригни Д., Уэст Б.* Хаос и фракталы в физиологии человека // В мире науки. — 1990. — № 4. — С. 25—30.
5. *Гласс Л., Мэки М.* От часов к хаосу. Ритмы жизни — М.: Мир, 1991. — 120 с.
6. *Граевская Н.Д.* Физкультура, спорт и здоровье / Спортивная медицина. — М., 1980.
7. *Дембо А.Г.* Современные проблемы спортивной медицины: Лекции. — Л., 1976.
8. *Дембо А.Г., Земцовский Э.В.* Электрокардиографические заключения как причина диагностических ошибок // Кардиология. — 1984. — № 3. — С. 63—70.
9. *Дембо А.Г., Земцовский Э.В.* Спортивная кардиология — Л., 1989.
10. *Дойзер Э.* Здоровье спортсмена. — М.: Физкультура и спорт, 1986. — 360 с.
11. *Земцова В.И.* Фрактальный анализ сердечного ритма у спортсменов: Автореф. дис. ... канд. наук по физ. воспитанию и спорту. — К., 2001. — 24 с.
12. *Кауфманн С.С.* Антихаос и приспособление // В мире науки. — 1991. — № 10. — С. 40—41.
13. *Кратчфилд Дж., Фармер Дж., Паккард Дж., Шоу Р.* Хаос // В мире науки. — 1987. — № 2. — С. 47—53.
14. *Крановер Р.* Фракталы и хаос в динамических системах. — М.: Постмаркет, 2001. — 390 с.
15. *Мандельброт Б.* Фрактальная геометрия природы. — М., 2002. — 656 с.
16. *Сандер Л.* Фрактальный рост // В мире науки. — 1987. — № 3. — С. 62—69.
17. *Суздальницкий Р.Ф., Левандо В.А.* Спорт, стресс, иммунитет. — М., 1995.
18. *Юнгертс Х., Пайтген Х-О, Зауне Д.* Язык фракталов // В мире науки. — 1990. — № 10. — С. — 36—44.
19. *Федер Е.* Фракталы. — М.: Мир, 1991. — 80 с.
20. *Goldberger A. West* B Fractals in Physiology and Medicine // J. Biology and Medicine. — 1988. — 60 — P. 421—435.
21. *Goldberger. A.L.* Is the normal heartbeat haotic or homeostasis // New Phisiol. Sci. — 1991. — 6. — P. 87—91.