

УДК 796.071.5 : 612.172.2
3-888

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФІЗИЧНОГО ВИХОВАННЯ І СПОРТУ УКРАЇНИ

ЗЕМЦОВА ВІКТОРІЯ ЙОСИПІВНА

УДК: 796.071.5 : 612.172.2

ФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ СЕРЦЕВОГО РИТМУ У СПОРТСМЕНІВ

24.00.01 - Олімпійський і професійний спорт

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата наук
з фізичного виховання і спорту



КИЇВ – 2001



Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Національному університеті фізичного виховання і спорту України, Державний комітет молодіжної політики, спорту і туризму України.

Науковий керівник: доктор медичних наук, професор
Апанасенко Геннадій Леонідович,
Київська медична академія післядипломної освіти ім. П.Л.Шупіка, завідувач кафедри спортивної медицини і санології.

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук, професор
Філіппов Михайло Михайлович,
Національний медичний університет ім. О.О.Богомольця, завідувач кафедри фізичного виховання і здоров'я;

доктор медичних наук, професор
Соколовський Валентин Степанович,
Одеський медичний університет, завідувач кафедри спортивної медицини і валсології.

Провідна організація: Дніпропетровський державний інститут фізичної культури і спорту, кафедра фізіології, спортивної медицини і фізичної реабілітації, Державний комітет молодіжної політики, спорту і туризму України.

Захист відбудеться "21" грудня 2001 року о 15 год. 30 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.829.01 Національного університету фізичного виховання і спорту України (03680 р. Київ-150, вул. Фізкультури, 1).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотечі Національного університету фізичного виховання і спорту України (03680 р. Київ-150, вул. Фізкультури, 1).

Автореферат розісланий "20" листопада 2001 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор наук з фізичного
виховання і спорту

БІБЛОТЕНКА
Київського державного
університету фізичного
виховання і спорту

Т.Ю.Круневич

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

Можливості зростання спортивних результатів пов'язані з характеристикою організму спортсмена як складного біологічного об'єкта, який входить до системи тренувальних впливів. При цьому цілком очевидно, що успіх тренування залежить від якості управління цією системою (В.М.Платонов, 1988, 1994, 1997; М.О.Годик, 1978, 1980, 1993; В.М.Защорський, 1978, 1979; Л.П.Матвеев, 1999).

Спортивного успіху можна досягти тільки шляхом взаємопов'язаних зусиль тренера, фізіолога, психолога та лікаря. В наш час існують різноманітні підходи до медико-біологічного спостереження та тестування висококваліфікованих спортсменів. С багатьох чинників, інтеграція яких визначає підготовленість спортсмена. Складність вирішення завдання повного розкриття перспектив спортсмена у конкретному виді спорту пов'язана, перш за все, з тим, що можливості спортсмена – це, в першу чергу, можливості його організму, які залежать від великої кількості чинників. Усі вони підлягають обов'язковому врахуванню (Р.Є.Мовчяньська, 1982; В.С.Міщенко, 1984; І.В.Аулик, 1990; М.О.Годик, 1993). Вирішити ці завдання тренеру допомагає система медико-біологічного контролю.

Фізіологічні тести, що лежать в основі медико-біологічного моніторингу, якими б сучасними вони не були, мають свої обмеження, особливо щодо прогнозів стану спортсмена. Це пов'язано з розмаїттям тестів, що застосовуються. Їх результати відрізняються не тільки в залежності від індивідуальності спортсмена, але й від безлічі інших чинників: кваліфікації, спрямованості тренувального процесу, етапу багаточісної підготовки та багатьох інших (Р.Д.Дібнер, 1982; В.Л.Карман, 1988; В.П.Філін, 1992; М.М.Булатова, 1997; К.П.Сахновський, 1997). Саме ця обставина нерідко викликає великі труднощі як у тренера, так і у лікаря щодо інтерпретації отриманих даних з метою формулювання висновку про стан спортсмена та його перспективи.

Таким чином, пошук показників, здатних характеризувати організм спортсмена в цілому, є надзвичайно актуальним.

Підходи до вирішення цієї проблеми намічені одним з розділів математичної характеристики функціонування хаотичних процесів – методом фракталів, який дозволяє графічно та аналітично описувати складні системи, зібрані із собі подібних та більш простих (Н.Hurst, 1965; В.Mandelbrot, 1983, 1988; А.Goldberger, 1988; D.Rigni, 1988; E.Feder, 1991; S.Hausdorf, 1996).

Візьомок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана на виконанні вченого плану науково-дослідницької роботи у сфері фізичної культури і спорту на 1998-2000 роки з теми Г.Д.Г. «Обґрунтування і розробка методів оцінки індивідуального спортивного потенціалу за допомогою вказаної ресєрації № 0199U000933.

Мета

Удосконалення комплексного контролю підготовки спортсменів високого класу на основі застосування показників фрактального аналізу серцевого ритму як методу, що характеризує ступінь оптимальності функціонування біосистеми в цілому.

Завдання

1. Визначити показники фрактального аналізу серцевого ритму у спортсменів та здорових осіб, які не займаються спортом.
2. Виявити відмінності у показниках фрактального аналізу серцевого ритму у спортсменів різної кваліфікації та з різною спрямованістю тренувального процесу.
3. Оцінити наявність змін показників фрактального аналізу серцевого ритму у спортсменів під впливом тестувальних, тренувальних та змагальних навантажень.
4. Порівняти методи біологічного контролю, засновані на даних аналізу серцевого ритму – фрактального аналізу та математичного аналізу серцевого ритму за Р.М.Баєвським.
5. Визначити особливості фрактальної структури серцевого ритму у спортсменів різних вікових груп та у зв'язку з рівнем здоров'я.

Об'єкт дослідження:

система контролю функціональної готовності спортсменів високого класу до навчально-тренувальних і змагальних навантажень.

Предмет дослідження:

фрактальна структура серцевого ритму спортсменів.

Методи досліджень: аналіз та узагальнення літературних джерел були спрямовані на визначення актуальних проблем комплексного контролю в спорті та можливості використання фрактального аналізу для моніторингу стану спортсменів. Серед конкретних методичних прийомів були застосовані: класична електрокардіографія, варіаційна пульсометрія за Р.М.Баєвським, система оцінки рівня соматичного здоров'я за Г.Д.Апаласенком і, вперше в практиці контролю, фрактальний аналіз серцевого ритму

спортсменів. Порівняння результатів досліджень, що їх було отримано різними методами в умовах спокою, дозованих, тренувальних та змагальних навантажень, надало можливість вирішити завдання дослідження. Одержані матеріали були статистично оброблені за допомогою комп'ютерної програми "Діаста".

Наукова новизна

Вперше встановлено:

- збільшення ступеня самоподібності фрактальних структур серцевого ритму спортсменів в міру зростання їх кваліфікації;
- незалежність фрактальних структур серцевого ритму спортсменів від спрямованості тренувального процесу;
- характер змін фрактальних структур серцевого ритму у спортсменів під впливом тестувальних, тренувальних та змагальних навантажень;
- відсутність зв'язку між показниками аналізу серцевого ритму у спокої у спортсменів методами фракталів та варіаційної пульсометрії за Р.М.Басевським;
- можливість використання фрактального аналізу серцевого ритму для прогнозу ступеня оптимальності функціонування організму спортсменів.

Теоретичне значення

Одержані нові теоретичні дані про особливості фрактальної структури хвильових процесів, зокрема серцевого ритму у спортсменів, а також про вплив на цю структуру тестувальних, тренувальних та змагальних навантажень. Встановлено, що удосконалення функцій організму спортсмена супроводжується підвищенням самоподібності фрактальних структур серцевого ритму.

Практичне значення

Фрактальний аналіз серцевого ритму дозволяє здійснювати медико-біологічний моніторинг за станом функцій спортсмена під час підготовки та участі в змаганнях.

Зокрема, фрактальний аналіз був використаний для контролю за функціональним станом висококваліфікованих спортсменів: ватерполістів – членів збірної команди України при підготовці до Чемпіонату Європи, 2000; плавців – членів збірної команди України при підготовці до Чемпіонату України, 1999; бігунів на середні дистанції під час участі у Кубку Кієва, 1999. Показники фрактального аналізу серцевого ритму також були застосовані для прогнозування стану спортсменів, які мають ознаки патології на ЕКГ.

Особистий внесок автора виражається формулюванням гіпотези, безпосереднім виконанням основного обсягу теоретичної та експериментальної роботи, узагальненням та аналізом одержаних даних. Авторovi належать результати досліджень, що свідчать про відмінності у показниках фрактального аналізу серцевого ритму в залежності від кваліфікації спортсмена та незалежність їх від спрямованості тренувального процесу. Самостійно оцінені наявність та ступінь змін показників фрактального аналізу у спортсменів під впливом тестувальних, тренувальних та змагальних навантажень; проаналізовані результати порівняння методів фрактального аналізу і математичного аналізу серцевого ритму за Р.М.Басевським; проведено зіставлення показників, визначених за допомогою фрактального аналізу з рівнем соматичного здоров'я; визначені особливості фрактальної структури серцевого ритму в різних вікових групах спортсменів. Частиною роботи є результати, одержані спільно з С.М.Бітко. В цій частині досліджень автору належить узагальнення даних, статистична обробка та їх аналіз.

Апробація

За результатами досліджень були зроблені наукові доповіді на науковому конгресі "3rd International Congress on Physical Education and Sport" (Komotini, Greece, 1995), Другій Всеукраїнській конференції аспірантів "Молода спортивна наука України" (Львів, 1998), Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та аспірантів фізкультурних закладів "Фізична культура, спорт та здоров'я" (Харків, 1999), Четвертому міжнародному науковому конгресі "Олімпійський спорт і спорт для всіх: проблеми здоров'я, рекреації, спортивної медицини та реабілітації" (Київ, 2000), науково-методичних конференціях Національного університету фізичного виховання і спорту України у 1998, 1999, 2000 роках.

Публікації

Основні положення дисертаційної роботи були викладені у трьох статтях, які опубліковано у провідних наукових фахових виданнях, затверджених ВАК України, та в матеріалах чотирьох наукових конференцій.

Структура та обсяг роботи

Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури, викладена на 188 сторінках друкованого тексту. Дисертація містить 10 таблиць та 23 малюнки. В роботі використано 223 літературних джерела, серед яких 70 ролей належать автору.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовується актуальність досліджуваної проблеми, мета, завдання, об'єкт і предмет дослідження, розкривається наукова новизна, теоретичне та практичне значення роботи.

У першому розділі "Сучасні проблеми комплексного контролю в спорті та можливості використання фрактального аналізу для моніторингу стану спортсменів" за даними літератури було проаналізовано проблеми комплексного і, зокрема, медико-біологічного контролю за станом спортсмена в процесі тренування. Розглянуті також можливості використання фрактального аналізу для оцінки хвильових процесів.

Фрактали, як предмет вивчення, пов'язані з розділом, що називається "нелінійна динаміка". У рамках цього розділу розглядаються системи, які реагують на зовнішні та внутрішні стимули нелінійним чином. Теорія нелінійної динаміки дозволяє краще зрозуміти такі явища як "хаос" у формі хмар, берегової смуги, побудови судинного русла, бронхіального дерева, нейронів тощо. "Хаос", що формується під час нелінійних процесів, має назву "детерміністський хаос".

"Детерміністський хаос" та "хаос" в енциклопедичному тлумаченні цього терміна не ідентичні поняття. Якщо структура хаосу не має певних закономірностей, то детерміністський хаос належить до обмеженої випадковості й асоціюється із фрактальною геометрією.

Фрактал, згідно з Б.Мандельбротом (1983), складається з геометричних фрагментів різного розміру та орієнтування, але аналогічних за формою.

При спостереженні фрактальних об'єктів у різних масштабах вимірювань можна бачити, що вони проявляють малюнок, який повторюється на різних рівнях. Таким чином, одна й та ж сама структура спостерігається у будь-якому масштабі. Фрактальний об'єкт може, наприклад, виглядати цілком однаково незалежно від того, чи ми спостерігаємо його у метровому, міліметровому або мікронному масштабі. Найбільш яскравим прикладом фрактальної структури в природі є папороть; кожна її частина, якою б малою вона не була, містить зображення, що у збільшеному вигляді відтворює цілу папороть.

На кожному рівні масштабу структура фракталу подібна (хоча й не обов'язково ідентична) до структур, що спостерігаються як в більших, так і в менших масштабах. Усі фрактали мають внутрішню властивість подібності на різних рівнях, яку можна назвати властивістю "самоподібності" (І.Сандер, 1987; Е.Голдбергер, Д.Ріні, 1990; S.Hausdorff, 1996).

Таким чином, самоподібність системи означає, що структура або процес виглядають однаково у різних масштабах або на різних за тривалістю інтервалах часу. Наприклад, якщо підкласти дані про ЧСС у кількох часових масштабах, то виявляється деяка закономірність. Проаналізувавши поведінку кривої на ділянці у кілька годин, на графіку можна знайти більш швидкі флуктуації, діапазон та послідовність, яких схожі на відповідні характеристики вихідного графіку, що охоплює довший інтервал часу. У ще більш дрібному масштабі часу (хвилини) можна виявити ще швидші флуктуації, які знов-таки нагадують флуктуації на вихідному графіку. Флуктуації ритму у різних масштабах часу виглядають подібними самі до себе, як гілки геометричного фракталу. Таким чином, серцевий ритм представляє собою типову фрактальну структуру. Тобто, біологічні системи підпорядковуються законам як побудови, так і функціонування хаотичних процесів, що дає можливість аналізувати їх методом фракталів (A.Goldberger, 1988; D.Rigni, 1988; S.Hausdorf, 1996).

Дослідженнями встановлено, що всупереч ортодоксальній логіці ("чим більш досконала функція, тим більш ритмічна її діяльність") молодість і здоров'я характеризуються нерегулярністю та непередбачуваністю ритму фізіологічних функцій, а зниження ступеня міцності та виникнення чіткої періодичності пов'язане із порушеннями у діяльності системи (E.Голдбергер, Д.Рігні, 1990). При цьому показано, що удосконалення біосистеми знаходить своє відображення у фрактальній структурі серцевого ритму, яка характеризується підвищенням самоподібності фракталів.

Фрактальний аналіз серцевого ритму було використано з метою прогнозування функціонального стану спортсменів: при цьому були отримані дані про перспективність використання фрактального аналізу серцевого ритму для інтегральної характеристики організму спортсмена.

У другому розділі наведені дані про методи та організацію досліджень. Характеристика спортсменів, які взяли участь у дослідженні за рівнем кваліфікації та спрямованістю тренувального процесу, наведена у таблиці 1.

Крім 108 спортсменів чоловічої статі та 38 здорових чоловіків віком 20-27 років, що не займаються спортом, була також досліджена група спортсменів початківців у віці 13-15 років (кількість осіб - 17), а також спортсмени-ветерани (12 осіб) віком 58-63 років. Усього досліджено 175 осіб.

Таблиця 1

Характеристика спортсменів за рівнем кваліфікації та спрямованістю тренувального процесу (n=108)

Спрямованість тренувального процесу	Рівень кваліфікації			
	МС	КМС	І р.	Початківці
Аеробна	12	14	8	7
Швидкісно-силова	7	12	9	5
Змішана	21	18	7	5
Всього	40	44	24	17

Методи досліджень: аналіз та узагальнення літературних джерел, класична електрокардіографія, варіаційна пульсометрія за Р.М.Басівським (1986), методика оцінки рівня соматичного здоров'я за Г.Л.Анапасником та ін. (1998), фрактальний аналіз серцевого ритму за Е.Голдбергером та Д.Рігні (1990), комплекс методів статистичної обробки даних.

Дослідження проводилися з використанням комп'ютерної системи керованого фізіологічного експерименту з автоматичним записом показників "Ведун" (А.А.Спарський та ін., 1992). Точність вимірювань інтервалів R-R при варіаційній пульсометрії – 0,05 с, при фрактальному аналізі – 0,002 с.

Для аналізу фракталів серцевого ритму використовувалися форма та щільність аттрактору (аттрактор – це графічне відображення поведінки системи на площині протягом тривалого часу) та Hurst-індекс, який відображає ступінь самоподібності коливань серцевого ритму у різних масштабах часу (H.Hurst, 1965; E.Feder, 1991). Чим більший ступінь самоподібності у стохастичності діяльності системи, тим більше цей індекс наближається до 1,0. Таким чином, вважалось, що збільшення площі аттрактору та Hurst-індексу свідчить про оптимальніший стан біосистеми (рис. 1).

Як функціональна проба використовувалася 25-секундна затримка дихання на видиху. Дослідження також проводилися до і після тренувань та офіційних змагань.

Розділ третій "Особливості фрактальної структури серцевого ритму у спортсменів" присвячено особливостям фрактальної структури серцевого ритму за результатами власних досліджень. Встановлено, що рівень кваліфікації спортсменів відображається як на формі та щільності аттрактору, так і на величині Hurst індексу (рис. 2, табл. 2).

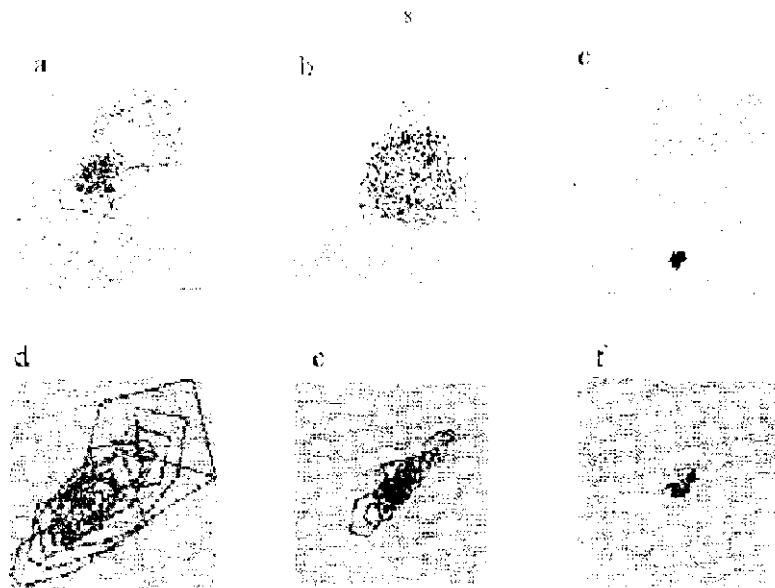


Рис. 1. Фрактальні структури серцевого ритму: а) у здорової людини; б) за 8 днів до раптового серцевого нападу; с) за 13 годин до смерті (а, б, с - за даними Е.Г.Олдбергера, Д.Рігні, 1990); д) у спортсмена у спокої; е) у не спортсмена у спокої; ф) у не спортсмена під час фізичного навантаження (д, е, ф - власні дані).

Таблиця 2

Величина Hurst-індексу в залежності від рівня кваліфікації спортсменів ($M \pm m$)

Показник кваліфікації спортсмена	Hurst-індекс	P
КМС, МС (n=94)	$0,8451 \pm 0,005$	P_1
Початківці (n=17)	$0,7653 \pm 0,007$	P_2
$P_1 - P_2$	$P < 0,05$	
Здорові особи, що не займаються спортом (n=38)	$0,7822 \pm 0,009$	P_3
$P_1 - P_3$	$P < 0,05$	
$P_2 - P_3$	$P < 0,05$	

Як видно з даних, приведених в таблиці 2, відзначається цілком чітка спрямованість до збільшення самоподібності фрактальних структур серцевого ритму від групи здорових осіб, які не займаються спортом, до групи спортсменів високого рівня підготовки.

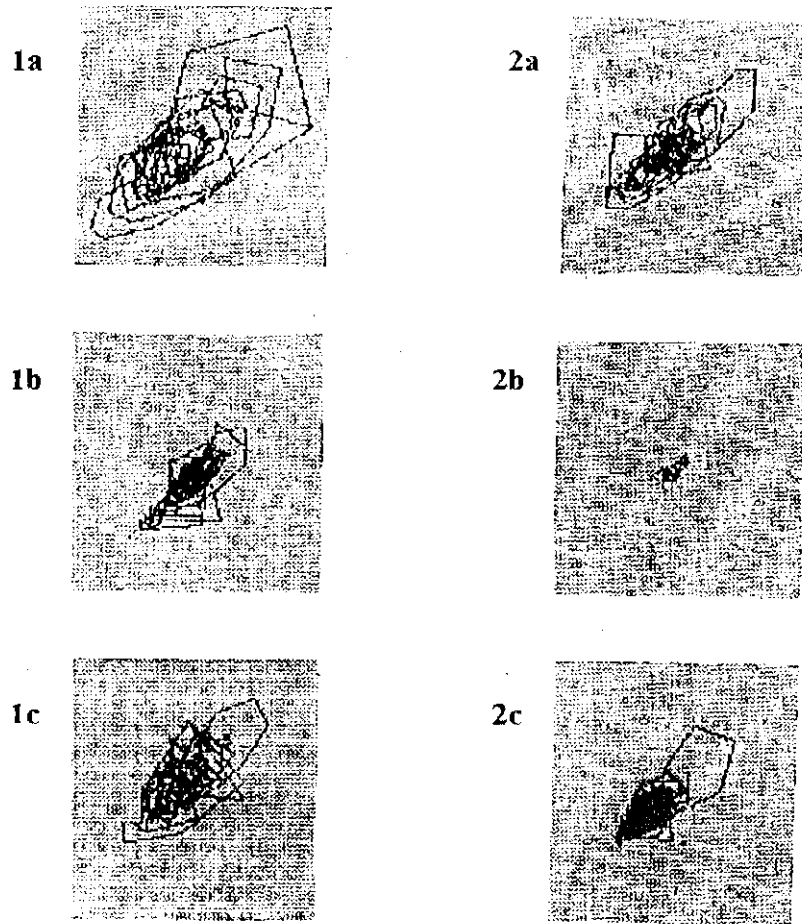


Рис. 2. Фрактальні структури серцевого ритму 1) кваліфікованого спортсмена; 2) молодого здорового чоловіка, що не займається спортом: а) у стані спокою; б) під час тестувального навантаження у вигляді затримки дихання на видиху на 25 с; в) під час відновлення після тестувального навантаження.

Що стосується впливу спрямованості тренувального процесу на фрактальну структуру серцевого ритму, такої залежності не виявлено. Її відсутність відмічена як у кваліфікованих спортсменів, так і у початківців. Таким чином, особливості фрактальної структури свідчать про більш загальні характеристики організму ніж ті, що формуються під час тренувальних навантажень різної спрямованості.

Будь-який показник може бути використаний як критерій контролю лише у тому випадку, якщо його закономірні зміни проявляються в умовах тренувальних та змагальних навантажень. Дослідженнями встановлено, що фрактальна структура серцевого ритму змінюється в цих умовах. При цьому, чим більші навантаження, тим більшими є зміни показників, що вивчаються (табл. 3).

Таблиця 3
Зміни Hurst-індексу у спортсменів до і після тренувального заняття та офіційних змагань
($M \pm m$)

Характер навантаження	До навантаження	Після навантаження
Тренування (плавці), n=6	0,8523±0,010	0,7038±0,014 (через 1 годину)
Змагання (легкоатлети), n=6	0,8341±0,008	0,6942±0,014 (через 2 години)

Не такою однозначною виявилася фрактальна структура кардіоритму у спортсменів та здорових осіб, які не займаються спортом, в результаті 25-секундної затримки дихання на видиху. Якщо у всіх здорових осіб, які не займаються спортом, в результаті виконання тесту відбувається зменшення Hurst-індексу, то у 22% спортсменів відмічається збільшення цього показника в процесі затримки дихання. У 37% спортсменів через 3 хв. після закінчення тесту величина Hurst-індексу перевищувала вихідні величини. В той же час, у здорових осіб цей феномен до кінця періоду відновлення відмічається лише у 12%.

Порівняльна характеристика результатів, отриманих методами варіаційної пульсометрії за Р.М.Басвським та фрактального аналізу кардіоритму показала, що вірогідна кореляція між ними відсутня. Це можна пояснити тим, що показники варіаційної пульсометрії більш лабільні, порівняно з показниками фрактального аналізу. Вони вказують на перевагу центральної або периферичної ланки регуляції серцевого ритму (Р.М.Басвський, 1986). Спеціально проведені дослідження наведеними методами за 4 години та за 30 хвилин до офіційної гри, показали суттєві зміни участі в регуляції серцевого ритму центральних та периферичних ланок і практичну незмінність Hurst-індексу. Таким чином, методики, що використовувалися, розкривають різні сторони стану функції спортсмена.

Наступна частина третього розділу присвячена розгляду можливостей фрактального аналізу як критерію оцінки та прогнозу стану спортсмена при порушенні електрокардіограми. До цього часу лишається таємницею можливість спортсмена показувати спортивні результати світового рівня при жорстких порушеннях електрокардіограми (Л.Л.Аншасенко, 2000; Л.А.Бутченко, 1963, 1980; Н.Д.Грасвська, 1951, 1984; А.Г.Дембо, Е.В.Земцовський, 1989; Р.Д.Дібнер, 1986; В.Л.Карпман, 1988). Виявлено, що високий Hurst-індекс на фоні патологічної електрокардіограми спортсмена високого класу свідчить про сприятливий прогноз стосовно професійної працездатності (рис. 3 а, б). І навпаки – зниження Hurst-індексу, навіть на фоні нормальної електрокардіограми, свідчить про порушення стану здоров'я спортсмена, до того ж не обов'язково з боку серцево-судинної системи (рис. 4 а, б). Однак, для з'ясування всіх особливостей, що стосуються встановленого феномена, необхідні спеціальні дослідження.

В четвертому розділі розглядається можливість використання результатів фрактального аналізу серцевого ритму для контролю навчально-тренувального процесу.

Теоретичний аналіз отриманих даних дозволив встановити формування адаптаційної "реакції тренування" (за Л.К.Гаркаві та ін., 1990) у 37% кваліфікованих спортсменів як фізіологічну реакцію на дію слабких подразників – 25-секундну затримку дихання на видиху. Можливості використання відкритого феномену – конкретизація виду адаптаційної реакції за допомогою фрактального аналізу серцевого ритму є, на наш погляд, досить перспективними. Крім того, обговорюються встановлені взаємовідношення між показниками фрактального аналізу і рівнем соматичного здоров'я.

При зіставленні рівнів здоров'я та Hurst-індексів усередині груп спортсменів з різною спрямованістю тренувального процесу встановлено, що в міру зростання ступеня самоподібності фрактальних структур підвищується і рівень соматичного здоров'я. Однак, виразність цієї закономірності залежить від спрямованості тренувального процесу. Так, у групах аеробної, анаеробної та змішаної спрямованості тренувального процесу, Hurst-індекс не має вірогідних відмінностей, в той час як до високого рівня соматичного здоров'я віднесені 50,0; 15,8; 25,6% спортсменів відповідно.

Було також розглянуто динаміку ступеня самоподібності фрактальних структур серцевого ритму у спортсменів різних вікових груп. Як свідчать дані, наведені у таблиці 4, самоподібність фрактальних структур серцевого ритму збільшується від підліткового віку до зрілого (стаціонарного) періоду та зменшується в процесі інволюції.

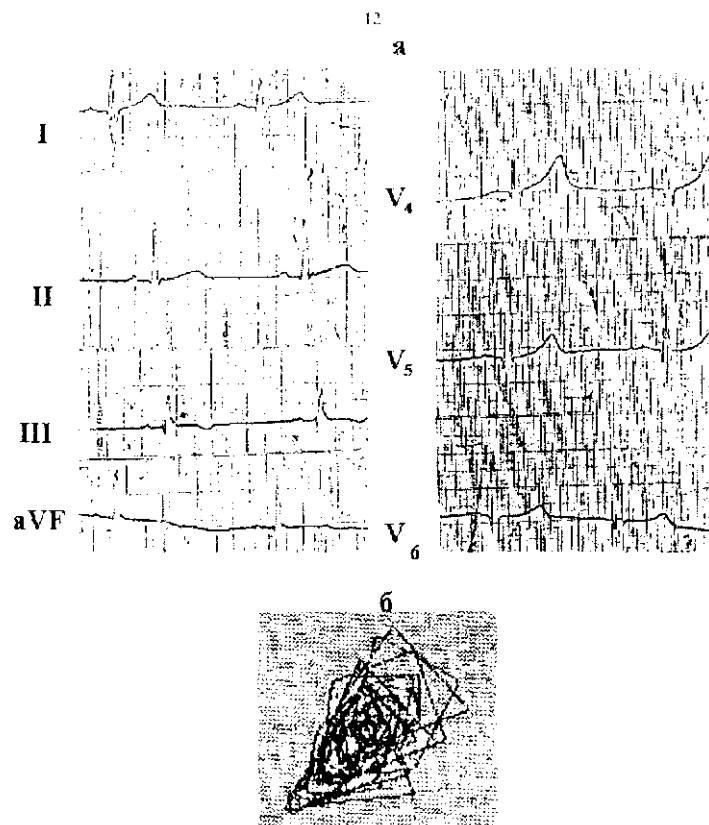


Рис. 3 (а, б). Електрокардіограма (а) та атрактор (б) спортсмена Н.

Спортсмен Н., 21 рік, майстер спорту, член збірної команди України з водного поло, займається спортом 10 років. Під час обстеження скарг на стан здоров'я не було, з боку внутрішніх органів відхилень не виявлено. ЕКГ від 05.03.1998 р. (рис. 3а): $R-R=0,98''$, ЧСС – 61, $PQ=0,12''$, $QRS=0,08''$, $QT=0,34''$ (0,37''), синусовий ритм, нормальний стан електричної вісі серця. Уповільнення проведення в ділянці перегородки. Синдром передчасної реполяризації шлуночків, інверсія зубців III та TaVF. Після фізичного навантаження незначні зміни міокарда в задній стінці лівого шлуночка. На 4-й хвилині відновлювального періоду з'являються часті суправентрикулярні екстрасистоли (трактування ЕКГ проводилося у Центрі спортивної медицини).

Таким чином, якщо базуватися тільки на даних електрокардіографії, можна говорити про наявність серйозних змін у функціях збудження та провідності серцевого м'яза. Спортсмену було рекомендовано зробити перерву у тренуванні та провести курс ліку-

вання. В той же час було зареєстровано фрактальну структуру серцевого ритму (рис. 3б), яка свідчила про те, що грубих порушень в організмі спортсмена не було. На це вказує широка конфігурація та мала щільність атрактора, а також досить високий Hurst-індекс (0,8511). Подальша доля спортсмена підтвердила сприятливий прогноз його стану і під час наступного обстеження (30.11.99) ЕКГ показала нормальний стан функцій міокарда.

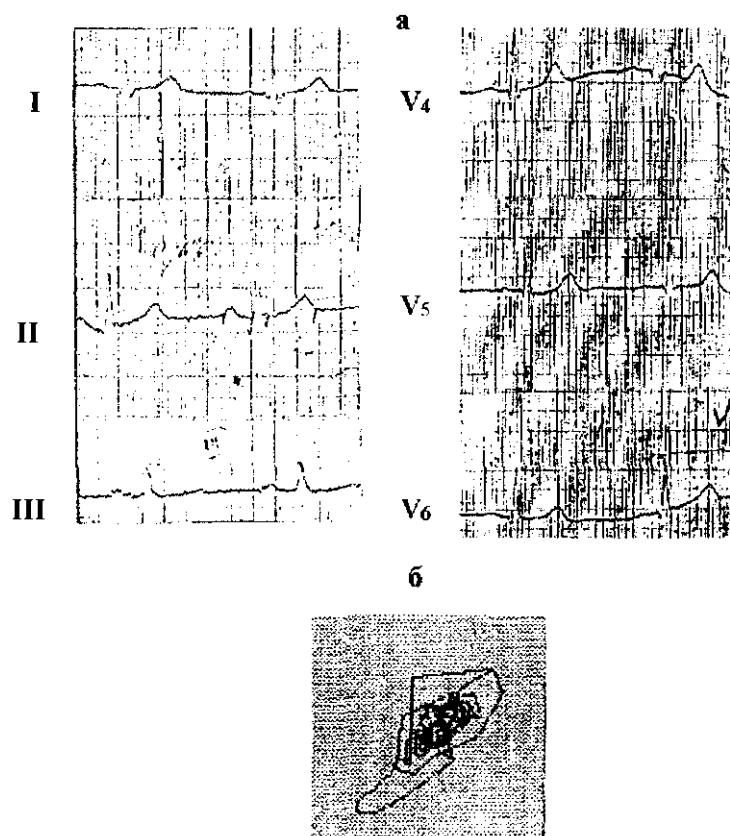


Рис. 4 (а, б). Електрокардіограма (а) та атрактор (б) спортсмена Б.

Спортсмен Б., 23 роки, майстер спорту з волейболу, стаж занять спортом 12 років. При черговому обстеженні (18.01.99 р.) скаржився на швидку стомлюваність, низьку працездатність, небажання тренуватися. На ЕКГ виявлено (рис 4а): RR-0,74", ЧСС- 81, PQ-0,14", QRS-0,06", QT-0,32" (норма - 0,32"). Ритм синусовий, нормальна електрична вісь,

форма ЕКГ без патологій. Після фізичного навантаження характер ЕКГ не змінився. Реакція на навантаження адекватна.

Таким чином, зміни з боку серця електрокардіограмою не виявлені. В той же час фрактальна структура серцевого ритму (рис. 4б) показала високу щільність атрактору та зменшення його конфігурації при зниженому для спортсмена такого класу Hurst-індексі (0,7843). Подальше обстеження виявило у цього спортсмена залишкові явища перенесеної півроку тому закритої черепно-мозкової травми.

Таблиця 4

Ступінь самоподібності фрактальних структур серцевого ритму у різні вікові періоди

($M \pm m$)

Вікові групи	Кількість обстежених	Hurst-індекс
13-15 років	17	0,7653±0,007
20-27 років	38	0,7822±0,009*
58-63 роки	12	0,7472±0,014

Примітка: * - $P < 0,05$

В п'ятому розділі (обговорення результатів власних досліджень) наводиться аналіз отриманих даних, обговорюються деякі вище описані феномени та розглядаються можливості використання результатів фрактального аналізу як критерія функціональних резервів та надійності спортивної діяльності.

Підеумовуючи результати роботи, можна стверджувати, що у дисертації наведене узагальнення і нове вирішення наукового завдання використання фрактального аналізу серцевого ритму в комплексному контролі підготовки кваліфікованих спортсменів.

ВИСНОВКИ

1. У дисертації наведені теоретичне узагальнення і нове вирішення наукового завдання, пов'язаного з удосконаленням контролю функціональної готовності спортсменів високого класу. У результаті аналізу літератури встановлено, що медико-біологічний моніторинг є необхідною умовою управління навчально-тренувальним процесом. При цьому показники, які входять в комплекс медико-біологічного моніторингу надають інформацію про різні аспекти функціонування окремих систем організму спортсмена та не дають інтегральної характеристики про стан його організму в цілому. Таким чином, дослідження даної проблеми є актуальним. В той же час досвід

використання методу фрактального аналізу для характеристики нелінійних процесів у живій та неживій природі свідчить про можливість його застосування для опису біо-системи в цілому. При цьому про оптимізацію діяльності системи свідчить збільшення самоподібності фрактальних структур різного масштабу. Кількісним критерієм оцінки самоподібності фрактальних структур серцевого ритму є показник Hurst-індексу, а якісним – конфігурація (площа) та щільність атрактору. Для одержання цієї інформації використано фрактальний аналіз серцевого ритму у спокої, в навчально-тренувальному процесі та під час змагань.

2. З підвищенням спортивної кваліфікації – від спортсменів-початківців до майстрів спорту відмічається збільшення самоподібності фрактальних структур ритму серця. Про це свідчить зменшення щільності та збільшення площі атрактору, а також Hurst-індексу від $0,7653 \pm 0,007$ у спортсменів-початківців до $0,8451 \pm 0,005$ – у майстрів спорту, що вказує на підвищення самоподібності фрактальної структури ритму серця. При цьому відмінності є вірогідними.

3. Хоча чітко виявляється збільшення самоподібності фрактальної структури ритму серця під впливом спортивного тренування, його спрямованість не впливає на фрактальну структуру ритму серця, про що свідчить відсутність вірогідних відмінностей між групами спортсменів, тренувальний процес яких характеризується аеробною або анаеробною спрямованістю.

4. Під впливом тестувального навантаження у вигляді 25-секундної затримки дихання на видиху у більшості кваліфікованих спортсменів (63%) відбувається зменшення самоподібності фрактальних структур ритму серця. В той же час у 37% з них реєструється збільшення цього показника. Тренувальні та змагальні навантаження у спортсменів різної кваліфікації призводять до закономірних змін у самоподібності фрактальних структур ритму серця, що виражається у її зменшенні.

5. Між показниками фрактального аналізу ритму серця в спортсменів у спокої та варіаційної пульсометрії за Р.М.Басвєським кореляційна залежність не виявлена. Це можна пояснити тим, що показники варіаційної пульсометрії за Р.М.Басвєським більш чутливі до психоемоційних навантажень. Так, при активній психоемоційній стану перед початком змагань показники варіаційної пульсометрії суттєво змінюються в бік підвищення ролі центральних механізмів регуляції. В той же час ступінь самоподібності фрактальних структур залишається незмінним. Це може свідчити про те, що вка-

зані методи характеризують різні сторони поведінки біосистеми при зовнішніх впливах на неї.

6. Збільшення самоподібності фрактальних структур серцевого ритму спортсменів в міру підвищення їх кваліфікації може бути використане для прогнозу стану спортсмена. Можливість прогностичної функції фрактального аналізу серцевого ритму підтверджується виявленим феноменом високої спортивної праездатності при виражених змінах електрокардіограми за типом дистрофії міокарда. І навпаки – погіршення показників фрактального аналізу свідчить про негативну динаміку функцій спортсмена, навіть при нормальній класичній електрокардіограмі.

7. У міру росту і розвитку організму та удосконалення його функцій в процесі спортивного тренування спостерігається збільшення самоподібності фрактальної структури серцевого ритму. При цьому Hurst-індекс в підлітковому віці складає $0,7653 \pm 0,007$, а у дорослому віці – $0,7822 \pm 0,009$. При досягненні індивідом інволютивного періоду життєвого циклу самоподібність фрактальних структур серцевого ритму починає знижуватися, досягаючи у віці 58-63 роки значень Hurst-індексу – $0,7472 \pm 0,014$.

8. При порівнянні рівня соматичного здоров'я і Hurst-індексу, встановлено, що у групах спортсменів-початківців та тих, хто не займається спортом, між цими показниками існує певний паралелізм. Чим вищий рівень здоров'я, тим, як правило, вище Hurst-індекс. У групах висококваліфікованих спортсменів ця закономірність менш виражена.

9. На підґрунті отриманих даних можна дійти висновку, що включення фрактального аналізу в комплекс засобів медико-біологічного моніторингу за функціональним станом і здоров'ям висококваліфікованих спортсменів дає змогу проводити інтегральну оцінку стану функцій в процесі їх багаторічної підготовки. При цьому з'являється можливість трактування тих чи інших відхилень у стані здоров'я спортсменів, що робить цей показник перспективним.

Список робіт, опублікованих за темою дисертації

1. Земцова В.И. Фрактальный анализ в спорте: состояние и перспективы // Педагогика, психология і медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту: Зб. Наук. пр. / Під ред. С.С.Срмакова. – Харків: ХХІІІ, - 1999, - № 21. – С. 52-56.

2. Земцова В.Й. Вплив тренувальних та змагальних навантажень на показники фрактальної структури серцевого ритму у спортсменів // Слобожанський науково-спортивний вісник. – Харків: ХДЦФК. – 1999. – Вип. 2. – С. 63-65.
3. Земцова В.Й. Використання методу фрактального аналізу для контролю функціонального стану спортсменів // Теорія і методика фізичного виховання і спорту. – Київ: ПУФВСУ, вид. “Олімпійська література”. – 2000. – Вип. 2/3. – С. 51-53.
4. Ткачук В.І., Битко С.Н., Земцова В.И. Использование статистических методов анализа ЭКГ для диагностики и прогнозирования функционального состояния спортсменов // Кибернетика и вычислительная техника. – 1994. – Вып. 102. – С. 64-67.
5. Земцова В.Й. Нетрадиційний метод оцінювання функціональних можливостей серця спортсменів // Друга Всеукраїнська конференція аспірантів “Молода спортивна наука України”, Львів, 11-13 березня, 1998. – Львів, 1998. – С. 113-115.
6. Апанасенко Г.Л., Земцова В.Й. Фрактальный анализ сердечного ритма при миокардиодистрофии у спортсменов // Матеріали IV Міжнародного наукового конгресу “Олімпійський спорт і спорт для всіх: проблеми здоров’я, рекреації, спортивної медицини і реабілітації”. – Київ. – 2000. – С. 165.
7. Битко С.Н., Земцова В.И. Фрактальный анализ сердечного ритма у спортсменов // Матеріали IV Міжнародного наукового конгресу “Олімпійський спорт і спорт для всіх: проблеми здоров’я, рекреації, спортивної медицини і реабілітації”. – Київ. – 2000. – С. 170.

Анотації:

Земцова В.Й. Фрактальный анализ сердечного ритма у спортсменов.

Дисертація (рукопис) на здобуття наукового ступеня кандидата наук з фізичного виховання і спорту за спеціальністю 24.00.01 – Олімпійський і професійний спорт. Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, 2001.

Дисертацію присвячено проблемі удосконалення системи комплексного контролю за станом функцій спортсменів під час тренувальних та змагальних шляхом використання фрактального аналізу їх серцевого ритму.

Встановлено, що показники фрактальної структури серцевого ритму закономірно змінюються залежно від рівня кваліфікації спортсменів, а також під впливом тренувальних, тренувальних та змагальних навантажень.

БІБЛІОГРАФІЯ



Показники фрактальної структури кардіоритму та варіаційної пульсометрії за Р.М.Баєвським характеризують різні сторони стану функцій організму спортсменів, а перший з них може бути використаний з метою прогнозування спортивної праездатності при наявності ознак відхилення від нормального стану функцій. Проаналізовані також показники фрактальної структури серцевого ритму у спортсменів у віковому аспекті. Встановлено збільшення Hurst-індексу від підліткового віку до дорослого періоду і зниження його в процесі інволюції.

Описані також взаємовідносини між індексом самоподібності і рівнем здоров'я спортсменів і здорових осіб, що не займаються спортом.

Ключові слова: медико-біологічний контроль, фрактальна структура серцевого ритму, прогноз стану спортсмена.

Земцова В.И. Фрактальный анализ сердечного ритма у спортсменов.

Диссертация (рукопись) на соискание ученой степени кандидата наук по физическому воспитанию и спорту по специальности 24.00.01 – Олимпийский и профессиональный спорт. – Национальный университет физического воспитания и спорта Украины, Киев, 2001.

Диссертация посвящена вопросам совершенствования контроля за состоянием спортсменов в тренировочном процессе и соревнованиях.

В качестве нового метода контроля предлагается использование общей закономерности в течении природных волновых процессов. Естественное их протекание, присущее многим окружающим нас явлениям (форма облаков, береговая полоса морей, горный рельеф, строение биологических объектов – форма сосудистого русла, нейронов, бронхиального дерева и т.п.) характеризуется фрактальной структурой, т.е. самоподобием фрагментов, взятых в различных масштабах. Классическими исследованиями установлено, что сердечный ритм представляет собой типичную фрактальную структуру, если регистрировать изменчивость интервалов R-R в различных интервалах времени. Использование принципа самоподобия фрактальных структур сердечного ритма в клинике оказалось весьма перспективным.

•

Для решения вопроса о влиянии уровня квалификации спортсменов на фрактальную структуру сердечного ритма было обследовано три представительных группы – мастеров спорта, начинающих спортсменов и молодых здоровых людей, не занимающихся спортом. Было установлено, что чем выше уровень квалификации, тем выше степень самоподобия фрактальных структур интервалов R-R. В то же время исследования показали, что направленность тренировочного процесса не находит своего отражения в динамике исследуемых показателей. Эта закономерность отмечена как у квалифицированных, так и у начинающих спортсменов.

Исследованиями показано, что вмешательство в течение естественных процессов регуляции сердечного ритма в виде тестирующих, тренировочных и соревновательных нагрузок приводит к закономерному изменению степени самоподобия фрактальных структур интервалов R-R. При этом у разных спортсменов выраженность этих изменений различна. Проведен сравнительный анализ между показателями вариационной пульсометрии по Р.М.Баевскому и фрактальной структурой сердечного ритма. Установлено, что эти два метода характеризуют различные стороны состояния функций у спортсменов, на что указывает отсутствие между ними корреляционной зависимости. Объяснение этому можно найти в том, что показатели вариационной пульсометрии являются более лабильными и зависят от психо-эмоциональных факторов. В то же время в этих условиях степень самоподобия фрактальных структур сердечного ритма, как правило, не меняется или даже имеет тенденцию к увеличению.

При выявлении изменений классической электрокардиограммы, которые можно трактовать как проявление хронического физического перенапряжения сердца, фрактальная структура сердечного ритма дает возможность делать обоснованный прогноз профессиональной работоспособности спортсменов. При этом на благоприятный прогноз указывает высокая степень самоподобия фрактальных структур кардиоритма. И, напротив, снижение степени самоподобия даже при нормальной электрокардиограмме дает основание предполагать наличие патологического процесса за пределами сердечно-сосудистой системы. Оценка самоподобия фрактальных структур кардиоритма в онтогенетическом аспекте дала возможность установить важную закономерность: по мере роста и развития организма происходит увеличение степени самоподобия онтогенетических ритмов, с последующим ее снижением к инволютивному периоду жизненного цикла.

Ключевые слова: медико-биологический контроль, фрактальная структура сердечного ритма, прогноз состояния спортсмена.

Zemlova V.I. Fractal analysis of athletes' cardiorythm.

Thesis (manuscript) for the Degree of Candidate of Science in Physical Education and Sport in speciality 24.00.01. - Olympic and professional sport. – National University of Physical Education and Sport of Ukraine. Kyiv, 2001.

The thesis deals with the problem of the complex control system perfection by using fractal analysis of the athlete's heart rhythm for the observation of their state functions during trainings or competitions. It is stated that the indices of fractal structure of cardiorythm is usually changed according to the qualification professional level of athletes and also under the influence of testing and training loading and the loading during competitions.

Indices of fractal structure of cardiorythm and variation pulsometrics according to P.M.Bayevsky characterize different sides of the state condition of the organism functions of athletes and the first of them can be used with the aim of foreknowing sporting efficiency if there are any signs of deviations from the normal state of the functions.

Indexes of fractal structure of cardiorythm of athletes in depending from their age. It was determined the increase of Hurst-index from juvenile age to senior period and it's reduction in involution period.

It's also describe interrelation between index of semisimilarity and health level of athletes and healthy persons which are not involved in sport.

Key words: medical-biological control, cardiorythm's fractal structure, prognosis of athlete's condition.