

DOI: 10.26693/jmbs04.01.283

УДК 796.015:37.046 :613.71/73+616.07

Кочина М. Л.¹, Чернозуб А. А.¹, Кочін О. В.¹,
Штефюк І. К.¹, Фірсов О. Г.²

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУ ЗМІНИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ СПОРТСМЕНА ПІД ВПЛИВОМ ТРЕНУВАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

¹Чорноморський національний університет ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна²ТОВ «АСТЕР-АЙТІ», Харків, Україна

kochinami@gmail.com

Представлені результати розроблення моделі прогнозу змін функціонального стану спортсменів, що займаються рукопашним боєм з частковим контактом з супротивником. Для побудови моделі було використано показники статодинамічної стійкості 46 професійних спортсменів та 20 початківців, для перевірки моделі – показники 22 тренуваних спортсменів. Показники статодинамічної стійкості можуть бути використані для оцінки відповідності тренувального навантаження індивідуальним особливостям організму спортсменів. Для описання стану вестибулярної системи випробовуваних в якості інтегрального показника може бути використаний показник якості функції рівноваги, значення якого в межах 70-80% відповідають зоні «норми», 65-70% - донозології, а 0-64% та 81-100% – свідчать про патологічний стан. Інформативність показника якості функції рівноваги підтверджена результатами дослідження показників варіабельності серцевого ритму у спортсменів в динаміці тренувального навантаження.

Модель прогнозу класу динаміки статодинамічної стійкості розроблено з використанням апарату нечіткої логіки, в якості функції приналежності використано функцію Гауса, нечітке логічне виведення зроблено за нечіткою базою Такагі-Сугено. Перевірка моделі прогнозу класу статодинамічної стійкості з використанням показників 22 спортсменів, що займаються рукопашним боєм з частковим контактом, показала, що загальна точність моделі становить 4,5%.

Ключові слова: функціональний стан, статодинамічна стійкість, рукопашний бій, модель прогнозу, нечітка логіка.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Стаття є фрагментом планової науково-дослідної роботи факультету фізичного виховання та спорту Чорноморського національного університету ім. Петра Могили «Розробка та реалізація інноваційних технологій оцінки та корекції функціонального стану людини під час фізично-

го навантаження в спорті і реабілітації», № держ. реєстрації 0117U007145.

Актуальність. Функціональний стан (ФС) являє собою інтегральний комплекс характеристик тих функцій і якостей людини, які забезпечують його цілеспрямовану діяльність. Мірою зміни ФС людини можуть служити зміни в роботі фізіологічних систем організму, які призводять до змін значень різних функціональних показників, самопочуття, перебігу основних психічних процесів. З іншого боку, мірою ФС людини може служити ефективність будь-якого виду діяльності, яку оцінюють за показниками продуктивності роботи, темпу її виконання, інтенсивності, кількості помилок, що допускається, обсягом виробленої продукції, її якості. У спорті ФС оцінюється за функціональними показниками організму спортсменів, а також за рівнем спортивних досягнень.

Оцінка ФС людини у спокої та прогнозування його змін у динаміці діяльності потребують створення методів і засобів, що дозволяють отримувати і обробляти інформацію, обчислювати відповідні показники, які можуть служити маркерами несприятливих зрушень в організмі, дозволяти класифікувати стани і розробляти заходи профілактики та реабілітації.

У зв'язку з високими вимогами, які пред'являються організму людини сучасним спортом, а також виникненням донозологічних і патологічних станів у спортсменів оцінка та прогнозування зміни ФС в процесі спортивних тренувань є актуальним завданням [7]. Для цього можуть бути використані прогнози, побудовані з використанням показників ЕКГ [1, 18, 19], варіабельності серцевого ритму (ВСР) [2, 6, 9, 11, 12], функції зовнішнього дихання [10].

Однією з провідних систем організму людини є вестибулярна система, функції якої полягають у підтримці рівноваги і орієнтації в просторі, забезпеченні мозку інформацією про розташування голови і тіла під час дії гравітації і сил, що викликають лінійні і кутові прискорення. Підтримка положення рівноваги тіла забезпечується поєднаною дією

вестибулярної, пропріорецептивної та зорової системи людини. Функція рівноваги - це складний рефлекторний процес, який контролюється безперервним потоком імпульсів, що йдуть від м'язів, пропріорецепторів сухожиль, шкірних екстерорецепторів, вестибулярного і зорового апарату до відповідних відділів центральної нервової системи. При втраті рівноваги ці імпульси активують рефлекторні скорочення м'язових волокон для відновлення рівноваги. Таким чином, рефлекторні скорочення мускулатури є причиною безперервних коливань тіла, які спрямовані на підтримку рівноваги [5, 15, 16].

При різних захворюваннях, зовнішніх впливах, в процесі розумових і фізичних навантажень стан вестибулярної системи змінюється, що є відображенням зміни функціонального стану організму. Показники, що характеризують стан вестибулярної системи в динаміці спостереження, можуть служити маркерами зміни не тільки в цій системі, а й у всьому організмі людини.

Дослідження стану вестибулярної системи здійснюється з використанням різних методів. Найбільш сучасними є методи статичної та динамічної стабілографії з використанням комп'ютерних стабілографів, які дозволяють оперативно отримувати інформацію про динаміку ФС людини в процесі лікування або трудової діяльності. Ці методи є простими, неінвазивними і високоінформативними [3, 4].

Значний інтерес представляють не тільки методи аналізу стабілографічних даних, але і прогнозування їх зміни під впливом зовнішніх чинників, наприклад, спортивного тренування. Це особливо важливо для визначення рівня готовності спортсменів та виявлення станів перетренованості. Якщо пропонувати спортсмену стандартне тренувальне навантаження, то за динамікою змін стану вестибулярної системи можливо отримати інформацію про зміни ФС, або про готовність спортсмена, наприклад, до змагань.

Зайняття РБ з частковим контактом з супротивником потребують від спортсменів наявності значного діапазону просторово-рухової орієнтації, точності, швидкості, стійкості, різнобічної координації рухів у часі та просторі [14]. При відповідних вроджених здібностях та під час удосконалення спортивної майстерності покращується діяльність вестибулярної системи, що проявляється мінімізацією амплітуд коливань тіла та підвищенням якості статодинамічної стійкості (СДС). Показники СДС можуть бути використані для оцінки відповідності тренувального навантаження індивідуальним особливостям організму спортсменів. Достовірне погіршення показників СДС вказує на необхідність корекції системи тренувань, наявність у спортсменів стану перетренованості та напруження.

Для описання стану вестибулярної системи випробовуваних в якості інтегрального показника може бути використаний показник якості функції рівноваги (ЯФР), який за даними літератури є одним з найбільш стійких і стабільних показників [3, 4]. Значення показника ЯФР в нормі може змінюватися в невеликому діапазоні, так як він відображає вроджені характеристики вестибулярної системи кожної людини. Встановлено, що за умови відсутності явних пошкоджень опорно-рухового апарату суттєва зміна ЯФР може свідчити про серйозні порушення вестибулярних функцій. На підставі численних досліджень було визначено, що значення ЯФР в межах 70-80% відповідають зоні «норми», 65-70% - донології, а 0-64% та 81-100% - свідчать про патологічний стан [15, 16].

Таким чином, використання показників СДС, зокрема ЯФР, дозволяють визначити зміни ФС людини під дією зовнішніх чинників.

Мета дослідження – розроблення моделі прогнозу функціонального стану спортсменів, що займаються рукопашним боєм з частковим контактом з супротивником, з використанням показників статодинамічної стійкості.

Матеріал та методи дослідження. Під нашим спостереженням знаходилися 46 спортсменів чоловічої статі, що займаються РБ з частковим контактом з супротивником (семі-контакт – I група), та 20 – спортсменів-початківців (контроль – II група). Вік усіх випробовуваних був у інтервалі 18-23 роки, що дозволяло порівнювати результати досліджень.

Для дослідження стану СДС випробовуваних був використаний пристрій «МПФІ стабілограф-1» (розробник ТОВ «АСТЕР АЙТІ», Харків). Дослідження СДС проводилося до та після тренувального навантаження, яке тривало 1,5 години. Досліджуваний для визначення стану вестибулярної системи знаходився протягом 2 хвилин на стабілографічній платформі у вертикальному положенні з розплющеними очима. У автоматичному режимі визначалися наступні показники стабілограми: Length – довжина траєкторії переміщення центру тиску стоп на площину опори; AvgSpeed – середня швидкість переміщення центру тиску; RangeX – розмах (різниця між максимальною та мінімальною координатою) коливань центру тиску у фронтальній площині; RangeY – розмах (різниця між максимальною та мінімальною координатою) коливань центру тиску у сагітальній площині; LengthX – довжина траєкторії переміщення центру тиску у фронтальній площині; LengthY – довжина траєкторії переміщення центру тиску в сагітальній площині; ЯФР – показник якості функції рівноваги [3, 4].

Для підтвердження висновків про зміну функціонального стану спортсменів під впливом тренуваль-

ного навантаження було проведено оцінку динаміки показників варіабельності серцевого ритму (BCP) з використанням пристрою «МПФІ ритмограф-1» (розробник ТОВ «АСТЕР АЙТІ», Харків).

Оброблення результатів досліджень проведено з використанням пакету прикладних програм STATISTICA 6.0 методами описативної статистики. Достовірність відмінностей між досліджуваними показниками оцінювалася з використанням непараметричних критеріїв.

Для побудови математичних моделей прогнозування ФС спортсменів в процесі тренувальних або змагальних навантажень за показниками СДС була використана нечітка логіка, в основу якої закладено здатність людини приймати правильні рішення в умовах неповної і нечіткої інформації [13, 20]. Нечітка логіка дозволяє вивчати об'єкти, які належать до множин не чітко, а з функцією приналежності, яка приймає значення в інтервалі [0, 1], а не тільки 0 або 1. В нечіткій логіці виконуються операції над нечіткими множинами та використовується поняття лінгвістичної змінної, якою виступають нечіткі множини [8]. Суть даного поняття полягає в тому, що конкретні значення числової змінної зазвичай піддаються суб'єктивній оцінці людини, причому результат такої оцінки виражається природною мовою що приймає значення з множини слів або словосполук деякої природної мови. Множина допустимих значень лінгвістичної змінної називається терм-множиною. Термом (term) називається будь-який елемент терм-множини. В теорії нечітких множин терм формалізується нечіткою множиною за допомогою функції приналежності. Задані значення змінної словами, без використання чисел, для людини є більш звичними, коли приймається рішення на основі лінгвістичної інформації типу: "дуже висока температура"; "тривала поїздка"; "миттєва відповідь"; "чудова квітка"; "гарний смак" і т.д. [8, 20]. Поняття лінгвістичної змінної відіграє важливу роль в нечіткому логічному виведенні та в ухваленні рішень на основі наближених міркувань. Таким чином, предметом нечіткої логіки вважається дослідження суджень в умовах нечіткості, які схожі з судженнями у звичайному сенсі.

Нечіткою базою знань називається сукупність нечітких правил «якщо – то», які визначають взаємозв'язок між входами та виходами об'єкта, що досліджується [8].

Нечітким логічним виведенням (fuzzy logic inference) називається апроксимація залежності кожної вихідної лінгвістичної змінної від вхідних лінгвістичних змінних та отримання висновку у вигляді нечіткої множини, з використанням нечіткої бази знань і нечітких операцій [8].

Нечіткі правила можуть бути описані аналітиками, виходячи з особистого досвіду або спостережень, або сформовані з використанням сукупності даних різними математичними методами. Для екстракції з наборів вхідних даних нечітких правил широко використовуються методи кластеризації, які відповідають принципу навчання без вчителя. Кластеризація дозволяє формувати групи об'єктів, найбільш подібних за різними параметрами (показниками, що описують об'єкти, механізмами впливу стану об'єктів на результат та ін.). Для синтезу нечітких правил на підставі результатів кластеризації кожному кластеру ставиться у відповідність одне нечітке правило виду: «ЯКЩО $x = x'$, ТО $y = y'$ », де x - вхідний значення параметра, y - вихідне значення параметра, x' , y' - нечіткі терми «БЛИЗЬКО x », «БЛИЗЬКО y » [17].

Координати максимумів функції приналежності об'єктів до кластерів приймаються рівними центрам отриманих кластерів. Функції приналежності цих нечітких термів задаються функцією Гауса:

$$\mu^t(x) = \begin{cases} \frac{-(x-b)^2}{2c^2} e^{-\frac{-(x-b)^2}{2c^2}}, & x \neq b, \\ 1, & x = b \end{cases}$$

де $\mu^t(x)$ – функція приналежності змінної x до терму t ; b – параметр функції приналежності, відповідний координаті максимуму (в даному випадку – координата центру кластера); c – параметр стиснення-розтягування функції приналежності.

При побудові моделі прогнозу ФС нечітке логічне виведення було зроблено за нечіткою базою Такагі-Сугено [13, 17], яка записується наступним чином:

$$(x_1 = \tilde{a}_{1j} \Theta_j \ x_2 = \tilde{a}_{2j} \Theta_j \ \dots \ x_n = \tilde{a}_{nj}) \Rightarrow \\ \Rightarrow y_j = b_{j0} + \sum_{i=1, n} b_{ji} x_i,$$

де \tilde{a}_{nj} – нечіткий терм, яким оцінюється вхідна змінна x_n в j -м правилі; n – кількість правил в базі; Θ_j – логічна операція, яка об'єднує фрагменти правила j -го (логічна операція «І», «АБО»); \Rightarrow – нечітка імплікація; b_{ji} – коефіцієнти лінійної функції (продукції), які представлено деякими дійсними числами.

Результати дослідження та їх обговорення. Дослідження стану серцево-судинної системи (ССС) та вестибулярної системи спортсменів різного рівня майстерності було проведено до та після відповідного тренувального навантаження з використанням системи, структура якої наведена на **рис. 1**.

Система, що складається зі стабілографа та ритмографа, в автоматичному режимі реєструє та розраховує показники досліджуваних систем.

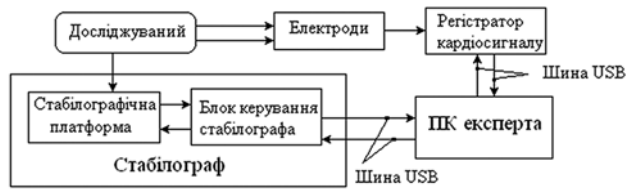


Рис. 1. Структурна схема системи отримання даних про функціональний стан спортсменів

Для оцінки динаміки показника ЯРФ під впливом тренувального навантаження у обох досліджуваних групах спортсменів був розрахований показник $\Delta ЯРФ$ за наступною формулою:

$$\Delta ЯРФ = | ЯРФ \text{ кінець} - ЯРФ \text{ почат} |,$$

де ЯРФ кінець – кінцеве значення ЯРФ (після навантаження), ЯРФ почат – початкове значення (до навантаження).

За показником $\Delta ЯРФ$ досліджуваних груп були побудовані діаграми, наведені на рис. 2.

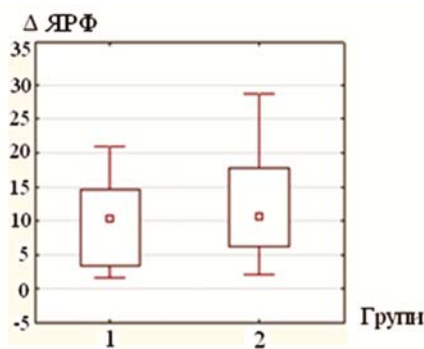


Рис. 2. Абсолютні зміни показника ЯРФ у досліджуваних групах

Аналіз діаграм дозволив встановити, що значення медіани $\Delta ЯРФ$ в досліджуваних групах (тренуваних спортсменів – 1 група та початківців – 2 група) майже збігається і дорівнює приблизно 10,55%. Виходячи з цього, була сформульована гіпотеза про те, що зміна показника ЯРФ в результаті навантаження більш ніж на 10,55% може свідчити про погіршення функціонального стану (ФС). Це погіршення може бути обумовлено невідповідністю запропонованого навантаження функціональним можливостям організму випробуваних.

Виходячи зі сформульованої гіпотези всі тренувані спортсмени були розділені на два класи в залежності від динаміки ЯРФ. До першого класу було віднесено випробуваних, у яких в результаті навантаження показник ЯРФ змінився не більше ніж на 10,55%. До другого класу – віднесено випробуваних, у яких в результаті фізичного навантаження показник ЯРФ змінився більше, ніж на 10,55%.

Таким чином, апріорні вирішальні правила для віднесення випробуваних до відповідних класів динаміки СДС мають вигляд:

$$\Phi_k^{ap} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \Delta ЯРФ \leq 10,55\% \\ 1, & \text{якщо } \Delta ЯРФ > 10,55\% \end{cases} \quad (1)$$

де Φ_k^{ap} – апріорний індекс класу динаміки, $\Delta ЯРФ$ – абсолютне значення зміни показника ЯРФ після навантаження по відношенню до вхідного до навантаження.

Для підтвердження правильності гіпотези про інформативність зміни показника ЯРФ для оцінки ФС з використанням запропонованих вирішальних правил 46 спортсменів першої групи були розділені на дві групи з різними класом динаміки показників СДС. До першого класу динаміки ($\Delta ЯРФ \leq 10,55\%$) віднесено 25 (54%) спортсменів, до другого класу ($\Delta ЯРФ > 10,55\%$) віднесено 21 (46%) спортсмен. У спортсменів, віднесених до різних класів було визначено показники ВСР, інформативність яких в динаміці спортивних тренувань доведена багатьма дослідниками [2, 6, 9, 11, 12]. Серед всіх визначених показників ВСР були відібрані показники, які достовірно відрізнялися у спортсменів, віднесених до різних класів динаміки СДС (табл. 1). Оскільки показники у класах мали значний розкид було визначено Ме та кватилі (25%, 75%).

Можна відмітити, що у спортсменів, які віднесено до другого класу динаміки СДС, більшість показників ВСР знаходяться поза межами нормальних значень та гірші, ніж у спортсменів, віднесених до першого класу. У другому класі динаміки СДС значення показників ВСР вказують на наявність значного впливу симпатичної нервової системи та центрального контуру регуляції. Це підтверджується низькими значеннями RMSSD, pNN50 та W і дуже високим значенням LF/HF. Функціональний стан спортсменів цієї групи відрізняється від норми. Отримані значення показників ВСР вказують на напруження організму спортсменів у стані спокою.

Таким чином, результати аналізу ВСР підтверджують гіпотезу про інформативність показника ЯРФ, що дозволяє використовувати його для розроблення моделей прогнозу ФС спортсменів під впливом навантаження.

Алгоритм розроблення нечітких моделей динаміки показників СДС зображений на рис. 3. Для отримання моделей прогнозу було використано наступні показники СДС: Length (L); AvgSpeed (V_{AVR}); LengthX (L_x); LengthY (L_y); ЯФР(KFR).

Модель прогнозу класів динаміки показників СДС умовно записується у вигляді:

$$\Phi_k^{pr} = D^{pk}(L, V_{AVR}, L_x, L_y, KFR).$$

Таблиця 1 – Середні тенденції показників ВСР спортсменів першої групи, віднесених до різних класів динаміки СДС до навантаження

Показники	1 клас динаміки СДС	2 клас динаміки СДС	Нормальні значення
RMSSD, мс	27,3 (19,6; 56,5)	18,4 (15; 25)* Z=2,2; p<0,028	30-60
pNN50, %	8,3 (3,3; 32,6)	2,9 (0,4; 6,1)* Z=2,8; p<0,01	7-9
deltaX, мс	275 (250; 400)	250 (200; 300)* Z=2,1; p<0,035	240-310
IBP, %/с	143 (78; 184)	210 (109;346)* Z=-2,2; p<0,03	100-300
ВПР, 1/с ²	5,2 (3,2; 5,9)	6,7 (5,4; 10,6)* Z=-2,9; p<0,004	7,1 – 9,3
ПАПР, %/с	50 (47; 69)	68 (52;90)* Z=-2,3; p<0,02	35-70
ІН, %/с ²	95 (54; 122)	168 (87; 277)* Z= -2,4; p<0,016	70-140
LF/HF	2,8 (2,0; 4,6)	6,6 (4,0; 7,2)* Z= -2,6; p<0,009	07-1,5
W, мс	115 (90; 160)	85 (65; 105)* Z= 2,7; p<0,007	-

Примітки: * - відмінності у значеннях показника між першим та другим класом динаміки СДС достовірні за критерієм Манна-Уїтні; RMSSD - квадратний корінь з суми різниць послідовного ряду кардіоінтервалів; pNN50 – число пар кардіоінтервалів з різницею більше 50 мс в% до загальної кількості кардіоінтервалів; deltaX – варіаційний розмах; IBP – індекс вегетативної рівноваги; ВПР – вегетативний показник ритму; ПАПР – показник адекватності процесів регуляції; ІН – індекс напруження; LF/HF – співвідношення потужності спектрів низькочастотної та високочастотної компоненти ВСР; W – ширина «хмари» на скаттерграмі.

Нечітка база знань нечіткої моделі записується у вигляді:

$$\text{ЯКЩО } (\tilde{L} = aL^j) \text{ I } (\tilde{V}_{avr} = aV_{avr}^j) \text{ I } (\tilde{L}_X = aL_X^j) \text{ I } (\tilde{L}_Y = aL_Y^j) \text{ I } (\tilde{KFR} = aKFR^j)$$

$$\text{ТО } \varphi_k^j = b_0^j + \sum_{n=1}^m b_n^j X_n, \quad j = \overline{1, z}$$

де $aL^j, aV_{avr}^j, aL_X^j, aL_Y^j, KFR$ – нечіткі терми вхідних змінних, φ_k^j – лінійна функція висновку j -го правила, b – лінійний коефіцієнт функцій, X – значення вхідної змінної, z – кількість нечітких правил.

Функції приналежності термів вхідних та вихідних змінних описуються функцією Гауса.

Після синтезу бази знань було оцінено її точність з використанням даних про апріорний та прогнозований класи і розроблено процедури її підстроювання. Для отримання мінімального значення помилки прогнозу налаштовувалися параметри стиснення-розтягування функцій приналежності

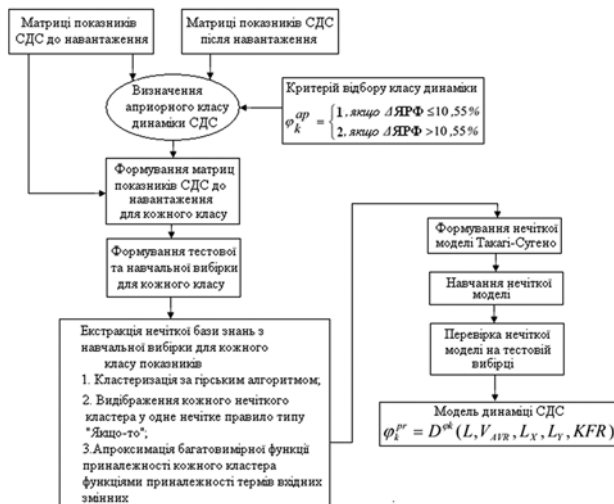


Рис. 3. Алгоритм розробки моделі динаміки показників СДС в процесі спортивного тренування

(параметр c функції Гауса). Ця процедура циклічно повторювалася до тих пір, поки значення нев'язки між прогнозними і фактичним результатом не стало мінімальним.

Параметри функцій належності вхідних термів наведені в **табл. 2**, коефіцієнти лінійних функцій висновків – в **табл. 3**.

Таблиця 2 – Параметри функцій приналежності вхідних термів

№ правила	Параметри функцій приналежності	Значення параметрів				
		L	V _{AVRr}	L _X	L _Y	KFR
1	b_1	536,70	8,94	350,80	323,99	72,23
	c_1	111,24	1,85	82,92	77,42	9,10
2	b_2	353,09	5,88	217,49	233,30	87,99
	c_2	111,24	1,84	82,92	77,42	9,08
3	b_3	538,49	8,95	318,49	365,00	73,17
	c_3	111,24	1,84	82,92	77,42	9,04
4	b_4	320,49	5,33	211,30	195,09	89,34
	c_4	111,24	1,84	82,923	77,42	9,06
5	b_5	707,60	11,88	431,09	475,10	55,17
	c_5	111,24	1,84	82,92	77,42	9,07

Для практичного використання отриманої моделі її формальний опис необхідно завантажити в машину нечіткого виведення Такагі-Сугено і провести розрахунок.

Отримані моделі прогнозу зміни стану СДС під впливом навантаження було випробувано з використанням показників 22 спортсменів, що займаються

Таблиця 3 – Коефіцієнти лінійних функцій висновків

№ правила	Параметри функцій продукції					
	L	V _{avr}	L _x	L _y	KFR	Залишковий член
1	0,7466	-46,1850	0,1485	-0,2256	-0,0936	-15,1510
2	-0,0353	100,8347	-1,1615	-1,3824	0,7806	-72,5932
3	-0,6005	43,9191	0,0617	-0,2826	-0,4442	101,4797
4	0,0966	-116,1909	1,3002	1,5152	-0,6020	66,3977
5	0,0348	-3,3282	0,0131	0,0195	-0,0887	4,8505

РБ з частковим контактом з супротивником. В результаті проведених стабілографічних досліджень були отримані показники СДС випробовуваних, які відображають трансформацію їх функціонального стану в процесі тренувального навантаження. У **табл. 4** наведено результати дослідження СДС до тренувального навантаження, зміна показника ЯФР, фактичний клас динаміки СДС, визначений за вирішувальними правилами (1), та прогнозний клас динаміки, визначений за допомогою розробленої моделі. Можна відмітити, що помилковий прогноз класу динаміки СДС було отримано з використання розробленої моделі лише у одному випадку (спортсмен №20), що склало 4,5% від усієї вибірки.

Аналіз результатів дослідження СДС спортсменів РБ та розподіл їх за класами динаміки показав, що з 22 досліджуваних 11(50%) віднесено до другого класу, що дозволяє прогнозувати погіршення в них ФС в результаті тренувального навантаження з помилкою у 4,5%.

Таким чином, проведені дослідження дозволяють зробити наступні **ВИСНОВКИ**:

1. Інформативність показника якості функції рівноваги підтверджена результатами дослідження показників ВСП у спортсменів в динаміці тренувального навантаження.
2. Показано, що зміна показника ЯРФ більш ніж на 10,55% в результаті фізичного навантаження свідчить про достовірне погіршення функціонального стану спортсмена.

Таблиця 4 – Результати визначення класу динаміки СДС спортсменів, що займаються рукопашним боєм

	До навантаження					Після	Клас динаміки	
	L, mm	V _{AVR} , mm/s	L _x , mm	L _y , mm	ЯФР	ΔЯФР	Факт	Прогноз
1	899,7	14,96	534,6	612,8	49,51	20,48	2	2
2	329,5	5,51	218,3	201,1	89,58	17,76	2	2
3	599,6	9,98	595,6	366,7	63,84	20,21	2	2
4	512,9	8,55	291	358,4	74,28	6,65	1	1
5	613,9	10,21	394,8	382,9	66,54	2,07	1	1
6	846,6	14,11	530,2	548,5	55,97	6,44	1	1
7	338,5	5,64	163,2	260,3	87,98	16,71	2	2
8	339,3	5,65	219,8	216	85,26	11,18	2	2
9	273,7	4,64	149	204,5	97,56	28,66	2	2
10	536,6	8,93	356,4	327,5	75,56	2,74	1	1
11	545,6	9,08	322,7	369,9	74,15	6,22	1	1
12	707,6	11,88	431,1	475,1	55,18	7,93	1	1
13	320,5	5,34	211,3	195,1	89,35	7,58	1	1
14	309,2	5,15	214,7	179,8	93,07	3,09	1	1
15	621,3	10,36	463,4	317	65,45	2,34	1	1
16	426,2	7,09	246,7	291,8	83,87	13,29	2	2
17	568,3	9,51	300,7	419,6	75,17	16,06	2	2
18	353,1	5,89	217,5	233,3	87,99	10,57	2	2
19	454,8	7,58	285,9	291,3	79,43	3,41	1	1
20	521,6	8,69	345,9	318,5	75,35	13,56	2	1
21	530,6	8,84	364,1	303,8	74,68	28,23	2	2
22	526,1	8,75	289,4	361,5	75,89	28,14	2	2

3. Для прогнозування класу динаміки статодинамічної стійкості використано наступні показники: довжина траєкторії зміщення центру тиску стоп на стабілографічну платформу, швидкість зміщення центру тиску, зміщення координат центру тиску, показник якості функції рівноваги.
4. Перевірка моделі прогнозу класу статодинамічної стійкості з використання показників спортсменів, що займаються рукопашним боєм з частковим контактом, показала, що загальна точність моделі становить 4,5%.
- Перспективою подальших досліджень є визначення впливу різних видів тренувального та змагального навантаження на показники статодинамічної стійкості та варіабельності серцевого ритму спортсменів, що займаються рукопашним боєм.**

References

- Bobrovnyk VY. Systema otsenky y prognozyrovannya fizycheskogo sostoyannya kvalyfytsirovannykh sportsmenov y legkoy atletyke. *Pedagogyka, psikhologiya ta medyko-biologichni problemy fizychnogo vykhovannya i sportu*. 2013; 1: 12-9. [Russian]
- Bokeryya LA, Bokeryya OL, Volkovskaya YV. Varyabelnost serdechnogo rytma: metody yzmerenyya, ynterpretatsyya, klynycheskoe yspolzovanye. *Annaly arytmologyy*. 2009; 4: 21-32. [Russian]
- Boloban V, Lytvynenko Yu, Nyzhnykovsky T. Systemnaya stabylografiya: metodologyya y metody yzmerenyya, analiza y otsenky statodynamicheskoy ustoychivosti tela sportsmena y systemy tel. *Nauka v olymp sporte*. 2012; 1: 27-35. [Russian]
- Boloban V, Mystulova TE. Stabylografiya: dostyzenyya y perspektivy. *Nauka v olympyyskom sporte*. 2000; *Spetsvy-pusk GNYFFK*: 5-13. [Russian]
- Buhtiyarov IB, Vorobev OA, Khomenko MN. Vzaymodeystviye zrytelnoy, vestibulyarnoy y propriotseptivnoy system v protsesse prostranstvennoy oryentirovki cheloveka v usloviya vozdeystviya bokovykh y prodolno-bokovykh peregruzok. *Avyakosmycheskaya y ekologicheskaya medytsyna*. 2002; 6: 3-8. [Russian]
- Buy Myn Zyep, Taratukhyn EO. Vozmozhnosity metodyky varyabelnosity serdechnogo rytma. *Rosyyskiy kardyologicheskyy zhurnal*. 2011; 6(92): 69-75. [Russian]
- Dorofeyeva OYe. Kompleksna otsinka ta korektsiia funktsionalnogo stanu i rezervnykh mozhlyvostey organizmu sportsmeniv. *Sportyvna medytsyny I fizychna reabilitatsiya*. 2016; 2: 25-30. [Ukrainian]
- Koval AA. Logiko-lingvistychni modeli v nechitkykh systemakh. *Problemy programuvannya*. 2008; 2-3(Spets vyp): 375-8. [Ukrainian]
- Kryvoruchenko EV. Varyabelnost serdechnogo rytma v praktyve sportivnoy medytsyny y sportivnoy podgotovky: obzor nauchnoy lyteratury. *Sportyvna medytsyna*. 2006; 1: 37-45. [Russian]
- Lysenko OM. Prognozuvannya fizychnoyi pratsezdatsnosti sportsmeniv za reaktsiyeyu kardiorespiratornoy systemy pry navantazhennyakh aerobnogo kharakteru. *Visnyk Zaporizkogo natsionalnogo universytetu*. 2011; 2: 87-96. [Ukrainian]
- Nekhanevych OB. Oznaky dezadaptatsiyi sertsevo-sudynnoy systemy do fizychnykh navantazhen za danyymi varyabelnosity sertsevogo rytmu. *Visnyk problem biologiyi i medytsyny*. 2014; 1(106): 317-20. [Ukrainian]
- Pavlichenko PP, Popov VD. Metody diagnostyky funktsionalnogo stanu profesiynykh sportsmeniv v riznykh umovakh. *Aktualni problemy suchasnoy medytsyny*. *Visnyk VDNZU «Ukrayinska medychna stomatologichna akademiya»*. 2015; 2(50): 99-104. [Ukrainian]
- Pegat A. *Nechetkoe modelirovaniye y upravleniye*. Per s angl. M: BYNOM Laboratorya znanyy; 2009. 798 c. [Russian]
- Chernozub AA, Kochyna ML, Chaban IO, Adamovych RG, Shtefyuk IK. Rezultaty otsinky psykhofiziologichnykh pokaznykiv sportsmeniv, yaki zaymayutsya rukopashnym boyem. *Edynoborstva*. 2018; 1(7): 81-8. [Ukrainian]
- Skvortsov D. *Dyagnostyka dvygatelnoy patologyy ynstrumentalnymi metodamy: analiz pokhodky, stabylometrya*. M: MBN; 2007. 640 c. [Russian]
- Shephard N.T. Functional operation of the balance system in daily lives. *Otolaryngology Clinics of North America*. 2000; 33(3): 455-69. [https://doi.org/10.1016/S0030-6665\(05\)70220-6](https://doi.org/10.1016/S0030-6665(05)70220-6)
- Shestakov M. Yspolzovanye stabylometryy v sporte. M: TVT Dyvyzyon; 2007. 112 c. [Russian]
- Bezdec JC. *Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing*. NY: Springer; 2005. 785 p.
- Borresen J, Lambert M. Autonomic control of heart rate during and after exercise: measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med*. 2008; 38: 633-46. PMID: 18620464. DOI: 10.2165/00007256-200838080-00002
- Ostojic SM, Stojanovic MD, Calleja-Gonzalez J. Ultra Short-Term Heart Rate Recovery after Maximal Exercise: Relations to Aerobic Power in Sportsmen. *Chinese Journal of Physiology*. 2011; 54(2): 105-10. PMID: 21789891
- Zadaeh LA. Fuzzy Sets. *Information and kontrol*. 1965; 8: 338-53. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

УДК 796.015:37.046 :613.71/73+616.07

**МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА ИЗМЕНЕНИЙ
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СПОРТСМЕНА
ПОД ВЛИЯНИЕМ ТРЕНИРОВОЧНОЙ НАГРУЗКИ**

Кочина М. Л., Чернозуб А. А., Кочин О. В., Штефюк И. К., Фирсов А. Г.

Резюме. Представлены результаты разработки модели прогноза изменений функционального состояния спортсменов, занимающихся рукопашным боем с частичным контактом с противником. Для построения модели были использованы показатели статодинамической устойчивости 46 профессиональных спортсменов и 20 начинающих, для проверки модели - показатели 22 тренированных спортсменов.

Показатели статодинамической устойчивости могут быть использованы для оценки соответствия тренировочной нагрузки индивидуальным особенностям организма спортсменов. Для описания состояния вестибулярной системы спортсменов в качестве интегрального показателя может быть использован показатель качества функции равновесия, значение которого в пределах 70-80% соответствуют зоне «нормы», 65-70% - донозологии, а 0-64% и 81-100% - свидетельствуют о патологическом состоянии. Информативность показателя качества функции равновесия подтверждена результатами исследования показателей вариабельности сердечного ритма у спортсменов в динамике тренировочной нагрузки.

Модель прогноза класса динамики статодинамической устойчивости разработан с использованием аппарата нечеткой логики, в качестве функции принадлежности использована функция Гаусса, нечеткий логический вывод сделан по нечеткой базе Такаги-Сугено. Проверка модели прогноза класса статодинамической устойчивости с использованием показателей 22 спортсменов, занимающихся рукопашным боем с частичным контактом, показала, что общая точность модели составляет 4,5%.

Ключевые слова: функциональное состояние, статодинамическая устойчивость, рукопашный бой, модель прогноза, нечеткая логика.

UDC 796.015: 37.046: 613.71 / 73 + 616.07

**The Model for Predicting Changes in the Athlete's Functional State
under the Influence of Training Load**

*Kochina M. L., Chernozub A. A., Kochin O. V.,
Shtefyuk I. K., Firsov O. G.*

Abstract. The article presents the results of developing the model for predicting changes in the functional state of athletes engaged in hand-to-hand combat, semi contact with the opponent.

Material and methods. In order to construct the model, we used the indicators of static and dynamic stability of 46 professional athletes and 20 beginners. We also used the indicators of 22 trained athletes for testing the developed model.

Being engaged in hand-to-hand combat requires a significant range of spatial-motor orientation, accuracy, speed, stability, versatile coordination of movements in time and space. The activity of the vestibular system improves if athletes have the corresponding innate abilities or during the perfection of these athletic skills in the training process. The improvement manifests itself by minimizing the oscillation amplitudes of the body and improving the quality of the static and dynamic stability. Indicators of static and dynamic stability can be used to assess whether the training load corresponds the individual characteristics of the athlete's body. Significant deterioration of the indicators of the static and dynamic stability indicates the need for correction of the training system, the presence of overtraining and stress in athletes.

Results and discussion. To describe the state of the vestibular system, we used an integral indicator of the quality of equilibrium function, which is one of the most stable indicators, according to the literature. The value of the quality of equilibrium function indicator in the normal range may vary a little as it reflects the innate characteristics of the vestibular system of a person. On the basis of numerous studies it was determined that the values of quality of equilibrium function in the range of 70-80% correspond to the zone of "norm", 65-70% show donosology, and 0-64% and 81-100% indicate a pathological condition.

The quality of equilibrium function indicator is confirmed to be informative by the results of the study of the parameters of cardiac rhythm variability in athletes in the dynamics of the training load. It was shown that the change in the quality of equilibrium function indicator by more than 10.55% as a result of physical activity indicates a significant deterioration of the athlete's functional state.

The following indicators were used to predict the class of the static and dynamic stability dynamics: the length of the trajectory of the center of feet pressure displacement on the stabilographic platform, the velocity of

the center of feet pressure displacement, the displacement of the center of feet pressure coordinates, and the indicator of quality of equilibrium function.

The model for predicting the class of the dynamics of the static and dynamic stability was developed using a fuzzy logic apparatus, which is based on the ability of a person to make the right decisions in the conditions of incomplete and fuzzy information. Fuzzy logic allows you to study objects that belong to sets not clearly, but with the function of belonging. We used the Gauss function while constructing a model for predicting the functional state of athletes on the parameters of the static and dynamic stability as a function of belonging, and made the fuzzy logical conclusion on the fuzzy basis of Takagi-Sugeno.

Conclusion. Testing the model for predicting the class of the dynamics of the static and dynamic stability using indicators of 22 athletes engaged in hand-to-hand combat with semi contact, showed that the overall accuracy of the model is 4.5%.

Keywords: functional state, static and dynamic stability, hand-to-hand combat, model for predicting, fuzzy logic.

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of coauthors of the article.

Стаття надійшла 21.11.2018 р.

Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування