

НОВІ НАПРЯМИ І ТЕХНОЛОГІЇ У СПОРТИВНІЙ МЕДИЦИНІ

Інформаційні засоби для оптимізації процесу відновлення організму спортсменів

УДК 519.8.812.007

Н. І. Аралова

Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, Київ, Україна

Резюме. *Мета.* Побудова комплексу алгоритмічного та програмного забезпечення для оптимізації процесу відновлення спортсменів за допомогою фармакологічної корекції. *Методи:* математичного моделювання та оптимізації. *Результати.* На основі методів математичного моделювання та оптимізації розроблено математичну модель функціональної системи дихання, яку доповнено рівняннями транспорту фармакологічного препарату та глюкози в організмі людини, здійснено її алгоритмічну реалізацію та побудовано комплекс програмного забезпечення для оптимізації вибору процесу відновлення спортсменів. *Висновки.* Запропоноване програмне забезпечення може надати суттєву підтримку при вирішенні комплексу задач, пов'язаних із відновленням спортсменів, які спеціалізуються у різних видах спортивних єдиноборств, з урахуванням їх здоров'я, рівня розвитку та тренуваності, стану основних систем життєдіяльності організму, які лімітують можливість виконання роботи на тлі різноманітних зовнішніх і внутрішніх збурень, а також для реабілітації спортсменів.

Ключові слова: спортсмени, відновлення, математичне моделювання.

Резюме. *Цель.* Построение комплекса алгоритмического и программного обеспечения для оптимизации процесса восстановления спортсменов с помощью фармакологической коррекции. *Методы:* математического моделирования и оптимизации. *Результаты.* На основании методов математического моделирования и оптимизации разработана математическая модель функциональной системы дыхания, дополненная уравнениями транспорта фармакологического препарата и глюкозы в организме человека. Осуществлена ее алгоритмическая реализация и построен комплекс программного обеспечения для оптимизации выбора процесса восстановления спортсменов. *Выводы.* Предложенное программное обеспечение может оказать существенную поддержку при решении комплекса задач, связанных с восстановлением спортсменов, специализирующихся в различных видах спортивных единоборств, с учетом их здоровья, уровня развития и тренированности, состояния основных систем жизнедеятельности организма, которые лимитируют возможность выполнения работы при различных внешних и внутренних возмущениях, а также для реабилитации спортсменов.

Ключевые слова: спортсмены, восстановление, математическое моделирование.

Abstract. *Objective.* Organization of a complex algorithmic and software for optimization of the process of athletes' recovery by means of pharmacological correction. *Methods:* mathematical modeling and optimization. *Results.* On the basis of the methods of mathematical modeling and optimization, a mathematical model of respiratory functional system was developed, supplemented by the equations of transport of the pharmacological preparation and glucose in the human body, its algorithmic implementation was realized and a software package was developed to optimize the choice of the process of athletes' recovery. *Conclusions.* Suggested software can provide significant support in solving a set of tasks related to the recovery of athletes specialized in various types of martial arts, with account for their health, level of development and training status, the state of the body vital systems that limit the possibility of performing

the work in the face of a variety of external and internal disturbances, as well as for the rehabilitation of athletes.

Keywords: athletes, recovery, mathematical modeling.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стійкість до навантажень у спортсменів залежить від швидкості перебігу процесів відновлення. У разі швидкого перебігу можна збільшити частоту й інтенсивність тренувань, оптимізувати змагальну діяльність [17]. Під час тренувальних занять і змагальної діяльності необхідно здійснювати поточний контроль за адаптацією спортсмена до навантажень та їх переносимістю [13, 17].

Різке зростання об'ємів та інтенсивності тренувальних і змагальних навантажень призводить до перевантаження опорно-рухового апарату, морфофункціональних змін у тканинах, виникнення травм і хвороб [17]. Це обумовлює важливість процесу відновлення, оскільки неможливо досягти високих результатів лише за рахунок збільшення об'ємів та інтенсивності тренувальних навантажень. Саме тому важливою передумовою для досягнення високих результатів є єдність тренувального процесу та відновлення.

Аналогічно до того, як індивідуально підбирають об'єми та інтенсивність тренувальних навантажень, так само індивідуально потрібно підбирати засоби відновлення. І саме в цьому тренерам і фахівцям зі спортивної медицини можуть допомогти засоби імітаційного моделювання.

Фізична робота супроводжується витратами кисню, накопиченням вуглекислого газу та різних метаболітів в організмі. Це обумовлює значну роль системи дихання, основною функцією якої є своєчасна та адекватна доставка кисню до тканин та органів, які працюють, та виведення вуглекислого газу. У той же час доведено, що система дихання є «слабкою ланкою» в організмі людини, яка суттєво обмежує її працездатність. Для кількісної оцінки ступеня компенсації гіпоксичного стану, що розвивається, застосовують математичні моделі функціонального стану організму, які імітують як активні (дихальні м'язи, серцевий м'яз, гладкі м'язи судин), так і пасивні (гіпометаболізм, еритропоез) механізми саморегуляції [21, 14, 16].

Для підвищення ефективності відновлення важливо не тільки забезпечити правильний вибір засобів відновлення та своєчасність їхнього застосування, але й контроль за їх дією. Оцінка ступеня відновлення — складний процес, тому що швидкість відновлення різних систем неоднакова [17]. Крім того, цей процес має фазний

характер, тому численні функціональні показники в різні періоди після фізичного навантаження можуть змінюватися по-різному. Особливості процедур відновлення обумовлені характером втоми, який є своєрідним у кожному виді спорту та формується під дією специфічного фізичного навантаження. Відповідно до цього здійснюється підбір засобів і процедур відновлення. Вони мають пришвидшувати процес відновлення саме тих функціональних систем, які несли основне навантаження під час тренувань і змагань. Залежно від виду спорту потрібно диференційовано використовувати засоби відновлення, адже відновлювальні процедури можуть не тільки прискорити перебіг процесу відновлення, але й зменшити резервні можливості організму, знизити його працездатність, тому що деякі процедури відновлення й самі можуть виявитися значним навантаженням на кардіореспіраторну систему [17].

Тривалість відновлення різниться — від декількох хвилин до декількох хвилин або днів, залежно від фізичного навантаження, яке було виконане спортсменом. У цей період відбувається відновлення енерговитрат, компенсація кисневого боргу, виведення з організму метаболітів, що сприяє нормалізації функцій механізмів біологічної регуляції (нервового та гуморального), опорно-рухового апарату та функцій вегетативних систем організму [19].

В основі процесу відновлення лежить одна з найважливіших функцій організму — здатність до саморегуляції та самовідновлення, спрямована на підтримання гомеостазу. Різна здатність тканин та органів до відновлення після фізичного навантаження обумовлює гетерохронність процесу відновлення і, як наслідок, фазність, яка характеризується зміною працездатності організму спортсмена [19].

У сучасному спорті вищих досягнень оптимізація процесів відновлення після тренувальних навантажень та підвищення фізичної працездатності можливі за умови раціонального поєднання фізичних навантажень та оптимального інтервалу відпочинку, а також у разі використання допоміжних засобів відновлення [19].

Відповідно до класифікації засобів відновлення [17, 19] найбільш поширеним є поділ їх на три основні групи — педагогічні, психологічні та медичні. Ці засоби використовують комплексно, з метою одночасного впливу їх на відновлення

центральної нервової системи, соматичної та вегетативної систем організму, причому поєднання, дозу та тривалість дії лікар має підбирати індивідуально. У цій ситуації доцільно застосувати методи імітаційного моделювання для процесу виконання фізичного навантаження та процесу відновлення.

Розвиток теорії оптимального керування й обчислювальних методів оптимізації та теорії динамічних ігор сформував передумови для створення алгоритмічного та програмного забезпечення для імітації процесу виконання навантаження організмом людини. Всі функціональні системи організму реагують на збурення, намагаючись привести організм у стан рівноваги, причому вони взаємодіють між собою, не зважаючи на протиріччя між окремими органами та системами. За допомогою математичного та імітаційного моделювання можна доповнити систему клінічних даних параметрами, які неможливо отримати на сучасному рівні розвитку експериментальної фізіології, патофізіології та медицини [16], наприклад, напруження респіраторних газів у тканинах органів, які працюють.

Під час імітації процесу стабілізації організму до збурень суттєвим також є врахування можливості участі внутрішньосистемних і міжсистемних механізмів регуляції при розв'язку конфліктних ситуацій, які виникають між функціональними системами організму, зокрема між системами дихання, кровообігу та терморегуляції у боротьбі за кисень та пошук компромісного рішення [18].

Однією з важливих особливостей перебігу процесу відновлення після тренувальних і змагальних навантажень є неодноразовість (гетерохронність) відновлення різних показників [2, 17, 19]. Так, відновлення основних показників кардіореспіраторної системи відбувається раніше, ніж повертаються до початкового стану запаси глікогену в м'язах. Участь у відповідальних змаганнях, пов'язана з великим психологічним навантаженням, часто призводить до того, що найтривалішим за часом стає відновлення психологічних функцій спортсмена.

Дослідження біохімічних процесів у період відпочинку після м'язової роботи дали змогу встановити, що найшвидше відновлюються запаси кисню та креатинфосфату в працюючих м'язах, потім — внутрішньом'язові запаси глікогену та глікогену печінки, в останню чергу — резерви жирів і зруйновані в процесі роботи білкові структури. Виведення лактату, який накопичився після максимальних анаеробних навантажень, відбувається зазвичай протягом 1–1,5 годин. У той же час відновлення запасів глікогену в працюючих

м'язах, особливо після значних аеробних навантажень, може тривати декілька днів.

Вплив тренувальних і змагальних навантажень на організм спортсмена не лише специфічне, але й різнонаправлене, і чим вищий їх рівень, тим актуальнішою стає необхідність застосування різноманітних засобів відновлення [12].

Відновлення фізичної та психічної працездатності після напружених фізичних тренувань і змагань може відбуватися природним шляхом, проте його можна значно прискорити, використовуючи різноманітні засоби.

Об'єктивні знання про розвиток втоми в процесі виконання різноманітних вправ, програм тренувальних занять, їх серій, змагальних навантажень тощо, а також про особливості перебігу процесу відновлення дають можливість не тільки виявити основні закономірності побудови різних структурних формувальних процесу тренування, але й розробити типові моделі, які дозволять прогнозувати розвиток втоми, характер і перебіг відновлювальних реакцій.

Відновлювальні заходи проводять в умовах змагань, коли необхідно забезпечити швидке та за можливості повне відновлення спеціальної фізичної працездатності та психологічної готовності до наступного етапу змагань, та в повсякденному навчально-тренувальному процесі в ході вдосконалення загальної та спеціальної працездатності, яка, цілком очевидно, пов'язана із втомою.

Метою даної роботи є створення комплексу алгоритмічного та програмного забезпечення для оптимізації процесу відновлення спортсменів на основі математичної моделі функціональної системи дихання.

Методи дослідження. Методи математичного моделювання та методи оптимізації.

Результати дослідження та їх обговорення. Підхід до математичного моделювання системи дихання, який було запропоновано в роботах [9, 11], базується на процесі здійснення основної функції системи дихання, а саме своєчасної та адекватної доставки кисню до тканин, які метаболюють, та виведення вуглекислого газу, що утворився під час тканинного обміну. Загальну структуру моделі наведено на рисунку 1.

Кисень у складі вдихуваного повітря через дихальні шляхи потрапляє в альвеолярний простір легенів, звідки через альвеолярно-капілярні мембрани проникає у кров легеневої капілярів. Потім — в артеріальну кров, яка, йдучи системою тканинних капілярів, доносить кисень до тканин окремих органів, де відбувається тканинне дихання в окремому тканинному резервуарі та здійснюються процеси окисного фосфорилування,

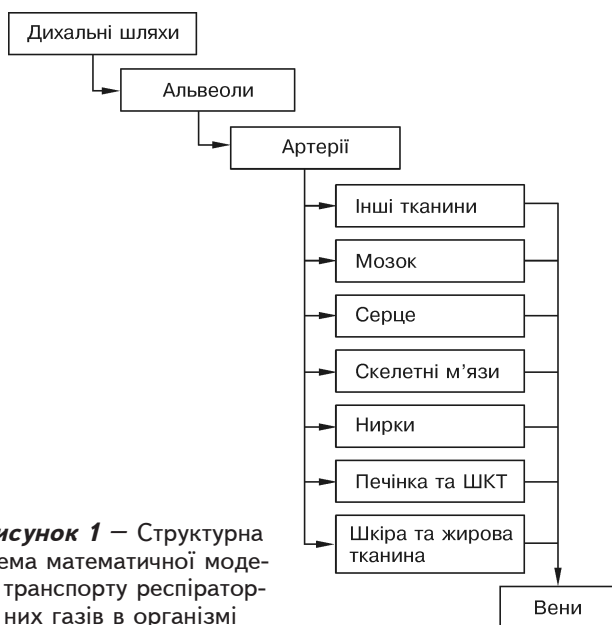


Рисунок 1 – Структурна схема математичної моделі транспорту респіраторних газів в організмі

залишковим продуктом якого є вуглекислий газ. Вуглекислота дифундує в кров і через систему венозних капілярів збирається у венозне русло та доставляється венозною кров'ю до легенів, де під час видиху відбувається вимивання CO_2 з організму.

Розглянемо запропонований підхід на прикладі спортсменів, які займаються спортивними єдиноборствами.

У роботах [2, 3, 6] зазначено, що при розробці стратегії підготовки та ведення поєдинку особи, які займаються боротьбою або боксом, проводять під час змагань два-три поєдинки на день, тобто перебувають в умовах одночасного поєднаного впливу фізичного навантаження та підвищеного ситуаційного напруження. Тому необхідно звернути увагу на забезпечення високої психофізіологічної працездатності та швидкого відновлення енергоресурсів після фізичного навантаження.

З точки зору математичної моделі функціональної системи дихання (ФСД), йдеться про швидке відновлення напружень респіраторних

газів насамперед у тканинах працюючих органів – мозку, серця, скелетних м'язів.

Безумовно, основу відновлювального та реабілітаційного процесів спортсмена складають раціональне і збалансоване харчування та відпочинок. Значну роль відіграє відновлення кисневих режимів організму. Саме з цією метою може бути використана математична модель самоорганізації ФСД [16].

Як вже зазначалося, основними виконавчими органами саморегуляції є дихальні м'язи, серцевий м'яз та гладкі м'язи судин. Людина свідомо може керувати лише роботою дихальних м'язів, формуючи необхідний рівень вентиляції легенів. Тому при більш інтенсивному режимі зовнішнього дихання знімається навантаження з серцевого м'яза, що обумовлює збільшення його енергетичного ресурсу. Для збільшення кисневого запасу в тканинах та регуляторного запасу серцевого м'яза бажано формувати відповідний режим для системи зовнішнього дихання, визначаючи оптимальні дихальні об'єми, тривалість фаз вдиху та видиху для кожного можливого рівня фізичного навантаження в спортивному єдиноборстві. Особливо важливо робити це під час відпочинку між поєдинками, у відновний період після змагань. Вибір оптимальних режимів системи зовнішнього дихання можна здійснити за допомогою математичної моделі. Отже, можна поставити задачу таймерного керування процесом масообміну газів в організмі.

Під **таймерним керуванням** розуміють підклас програмного керування динамічною системою, при якому чергуються інтервали дії керування на систему та інтервали, в яких така дія відсутня. Параметрами таймерного керування процесом насичення тканин киснем є тривалість інтервалів, на яких змінюється фізичне навантаження заданої інтенсивності, і моменту часу, коли воно відсутнє.

Графічно модель таймерного керування процесом поєдинку можна зобразили у вигляді ритмограми поєдинку (рис. 2) [3].

Особливо слід відмітити можливості моделювання для імітації поєдинків з урахуванням функціонального стану спортсмена. Будемо вважати,

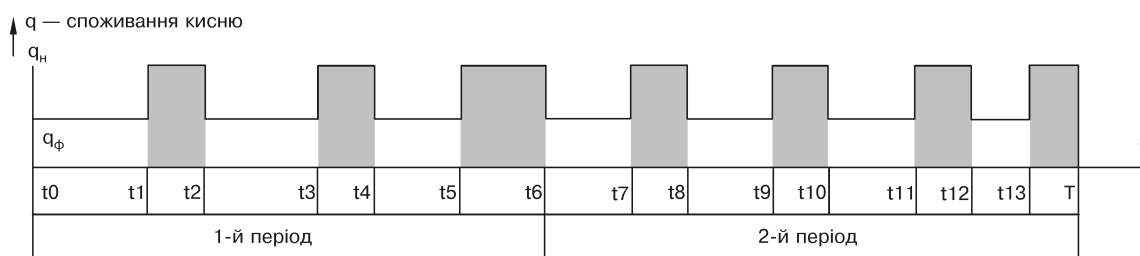


Рисунок 2 – Приклад ритмограми поєдинку борця вільного стилю

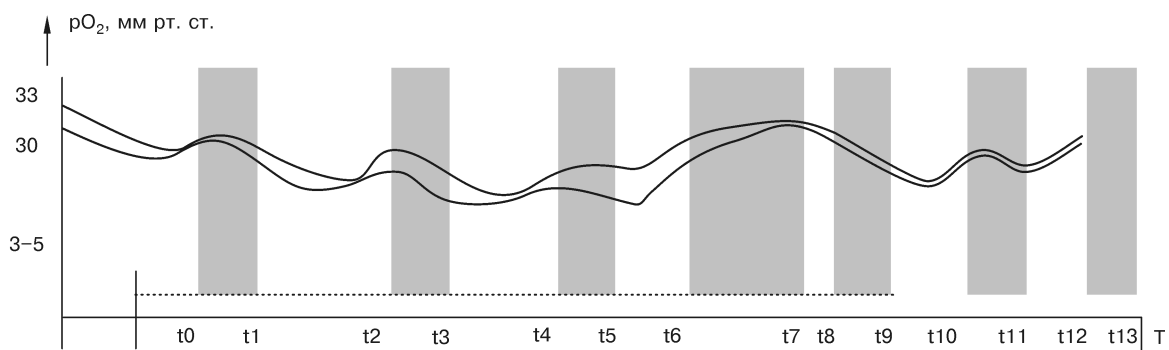


Рисунок 3 – Динаміка напружень кисню у борця в серцевому та скелетних м'язах протягом поєдинку

що силове єдиноборство являє собою динамічну конфліктно-керовану гру.

Плануючи тактику та стратегію поєдинку, тренер безумовно враховує функціональні можливості свого учня і його суперника. Ситуаційне моделювання [7] дозволяє створити модель можливого перебігу поєдинку, а модель функціональної системи дихання – оцінити зміни функціонального стану спортсмена в ході імітованого поєдинку та розробити рекомендації щодо можливої поведінки (стратегії та тактики) під час боротьби. На ритмограмі інтервали t_0-t_1 , t_2-t_3 , t_4-t_5 , t_6-t_7 , t_8-t_9 , $t_{10}-t_{11}$, $t_{12}-t_{13}$ характеризуються підтриманням фонові активності (періоди, коли суперники готують атаку), для якої споживання кисню дорівнює $q_{\text{ф}}$; інтервалам t_1-t_2 , t_3-t_4 , t_5-t_6 , t_7-t_8 , t_9-t_{10} , $t_{11}-t_{12}$, $t_{13}-T$ (T – час закінчення поєдинку) властива активізація фізичних зусиль під час проведення атакуючих дій і, відповідно, збільшення споживання кисню. На моделі ФСД розраховуються зміни напружень кисню та вуглекислого газу в скелетних м'язах, серцевому м'язі та тканинах мозку. Дуже важливим є те, щоб при плануванні можливого перебігу поєдинку напруження кисню в серцевому та скелетних м'язах не ввійшли у зону критичних значень (рис. 3).

При розігруванні різних епізодів поєдинку на моделі тренер має визначити оптимальну стратегію ведення бою, яка може забезпечити перемогу. Зрозуміло, що вибір моментів для атакуючих спуртів та прояву моментів функціональної активності борця під час поєдинку багато в чому залежить від поведінки суперника, його фізичної та тактико-технічної підготовки. На моделі можна зімітувати різні варіанти ведення бою, розподілити фізичні зусилля під час поєдинку, «фонову» активність тощо.

Зазвичай тренер дає спортсмену установку на поєдинок з урахуванням можливостей суперника. Але може виникнути ситуація, коли суперник буде вести поєдинок інакше, ніж від нього чекають, або в перебіг поєдинку можуть втрутитися судді та перевести спортсменів у партер

(як, наприклад, це сталося в фіналі олімпійського турніру між українським і російським спортсменами). Тоді борець має налаштуватися на самостійне прийняття рішення про тактику ведення конкретного поєдинку. В цій ситуації суттєвими є рівні напружень кисню в тканинах мозку, які теж не мають входити в зону критичних.

Під час змагань борці зазвичай проводять по два-три поєдинки на день, мають недостатньо часу на відновлення між ними, тому важливе значення в успішному виступі спортсмена має його здатність до фізичного та психологічного відновлення до наступного поєдинку. В цій ситуації суттєву роль може відіграти вибір оптимальної моделі відновлення спортсмена за короткий проміжок часу.

Як уже згадувалося, відновлювальні заходи поділяють на три великі групи: педагогічні, медико-біологічні та психологічні.

Фізична робота супроводжується значними витратами кисню та накопиченням вуглекислого газу та різних метаболітів в організмі. Для того щоб відновити запаси кисню та вивести недоокиснені продукти розпаду, з медичних препаратів застосовують антигіпоксанти, які покращують утилізацію кисню організмом, сприяють забезпеченню кисневого запиту тканин працюючих органів і, тим самим, запобігають розвитку гіпоксії або підвищують стійкість організму до нестачі кисню.

На сьогодні існують велика кількість антигіпоксантів і різноманітні сучасні підходи до фармакологічної корекції гіпоксичних станів, огляд яких міститься в роботах [10, 15, 19]. Тому тренеру та спортивному лікарю досить важко експериментальним шляхом підібрати оптимальні препарати, дозування та схеми прийому. На допомогу в цій ситуації може прийти імітаційне моделювання. Для оцінювання ступеня розвитку гіпоксії в тканинах окремих органів та в організмі в цілому пропонується використати математичну модель функціональної системи дихання [16]. На моделі при імітації процесу навантаження розраховують локальні та системний

кровотоки, напруження респіраторних газів у крові та тканинах. Далі математичну модель динаміки транспорту респіраторних газів в організмі людини доповнюють рівняннями, які описують зміну концентрацій фармакологічного препарату в кожній структурі системи дихання [2, 12]. При цьому передбачено введення фармакологічного препарату різними шляхами — респіраторним, пероральним, внутрішньом'язовим та внутрішньовенним, хоча очевидно, що найефективнішим буде внутрішньовенне введення антигіпоксанту. Припускають, що виведення препарату з організму відбувається через нирки.

Повністю модель транспорту глюкози та інсуліну в організмі описано в роботі [8]. Ми лише зауважимо наступне. У моделі, відповідно до [20], передбачається метаболізм інсуліну та глюкози при їх взаємодії. Глюкозу вводять внутрішньовенно, метаболізм глюкози відбувається в тканинах печінки та інших тканинах, виводиться через ниркову тканину. Зміни напружень кисню та вуглекислого

газу визначають за інтенсивністю процесів окиснення у всіх тканинних регіонах організму.

На рисунку 4 представлено структурну схему роботи програмного комплексу для оцінки функціонального ресурсу організму спортсмена та оптимізації процесу відновлення.

У цілому дослідження має такий вигляд: проводять обстеження спортсмена, створюють модель даних за результатами лабораторних досліджень і роботи на відповідному тренажері. Ці дані вводять у модель динаміки транспорту респіраторних газів та імітують процес навантаження. Далі імітують різноманітні варіанти відновлення, при цьому можна ставити, зокрема, двокритеріальну задачу: найефективніше фізичне відновлення та мінімізація часу відновлення; а також проводити комп'ютерний аналіз прийняття рішення про найбільш оптимальний варіант відновлення. Результати імітаційного моделювання з індивідуалізованими моделями конкретної групи спортсменів наведено на рисунках 5—7.

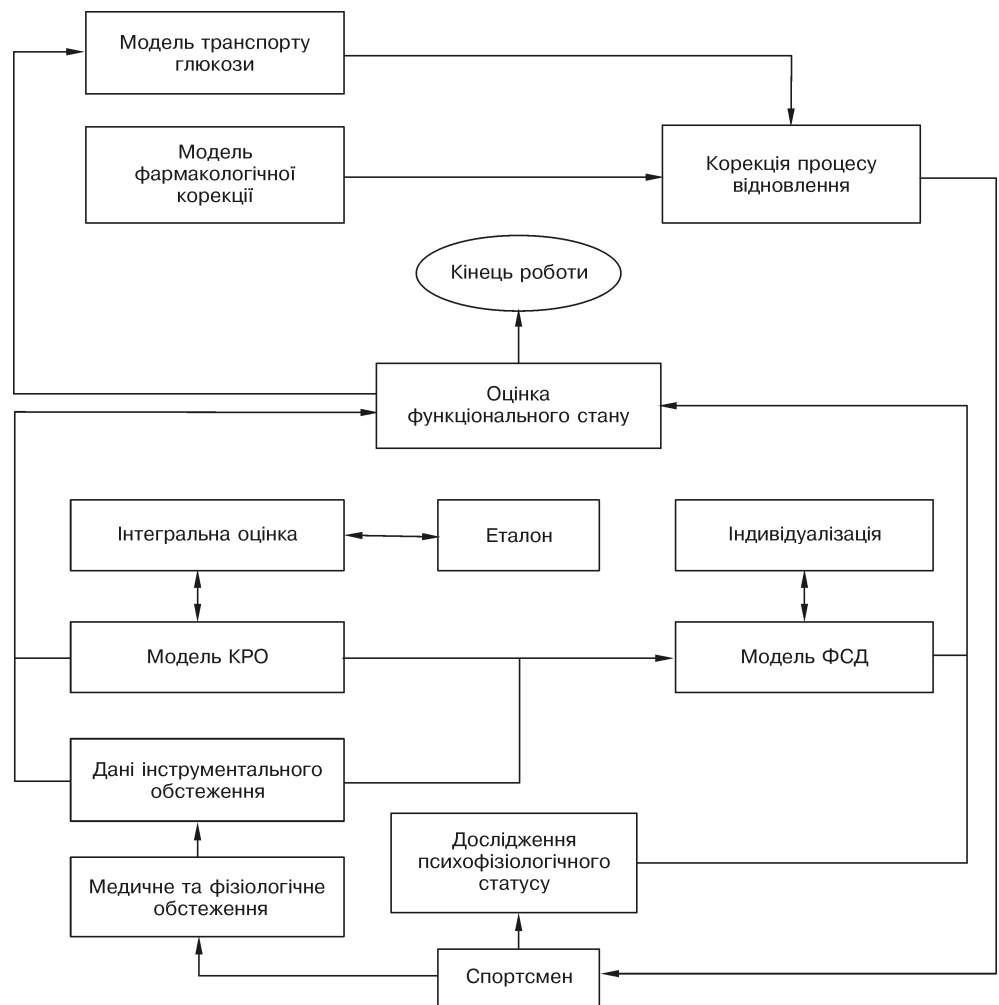


Рисунок 4 — Алгоритм роботи програмного комплексу для оцінки функціонального ресурсу організму спортсмена та оптимізації процесу відновлення

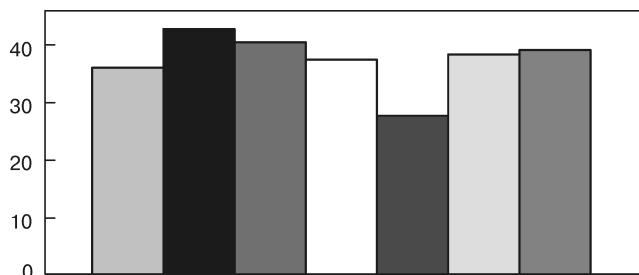


Рисунок 5 – Індивідуальні показники напружень кисню в скелетних м'язах у борців високої кваліфікації

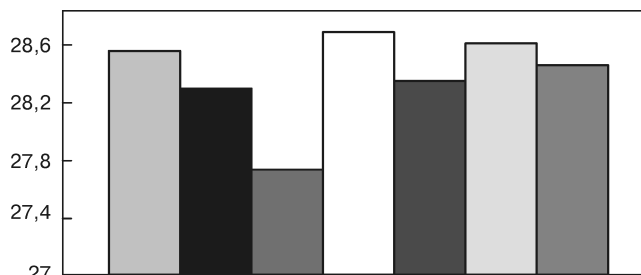


Рисунок 6 – Індивідуальні показники напружень кисню в серцевому м'язі у борців високої кваліфікації

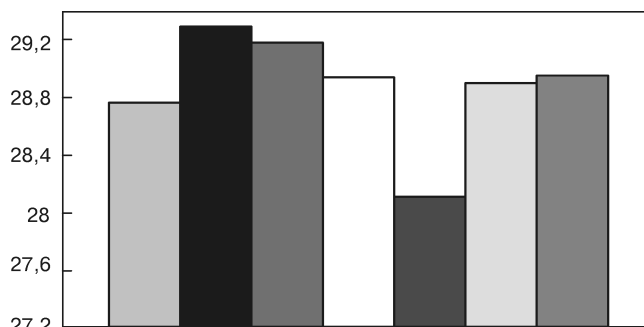


Рисунок 7 – Індивідуальні показники напружень кисню в тканинах мозку у борців високої кваліфікації

Ітераційна процедура застосування запропонованого програмного забезпечення має такий вигляд:

1. Інструментальне обстеження спортсмена.
2. Дані обстеження вводять у модель кисневих режимів організму (КРО), яка дозволяє отримати деякі дані про функціональний стан спортсмена та ряд вхідних даних для роботи моделі динаміки [1, 5].
3. На основі моделі статички (КРО) здійснюють інтегральну оцінку кардіореспіраторної системи [4, 22].
4. Вхідні дані, які отримані під час медичного та фізіологічного обстеження та в результаті роботи моделі статички, вводять у модель транспорту респіраторних газів [2, 16]. Модель індивідуалізують і здійснюють імітацію фізичного навантаження. Отримані дані аналізують.
5. Імітують різні варіанти відновлення організму спортсмена за допомогою моделей транспорту фармакологічного препарату та глюкози, здійснюють комп'ютерний аналіз.
6. Приймають рішення про найоптимальніший варіант відновлення організму конкретного спортсмена.

Саме цей підхід застосовувався під час обстеження спортсменів високої кваліфікації, які спеціалізуються у спортивній боротьбі. Дані обстеження та подальша імітація спокою та навантаження в умовах гіпобаричної гіпоксії [3]

дозволили зробити висновки про ступінь тканинної гіпоксії.

Результати досліджень показали, що практично всі спортсмени мають резерви фізичної потужності і можуть виконати значне навантаження, тому що напруження кисню в скелетних м'язах та серцевому м'язі далекі від критичних значень (див. рис. 5, 6).

Значно нижчими виявилися резервні можливості тканин мозку (див. рис. 7) у деяких спортсменів, що може призвести у них, зокрема, до порушення координації та завадити прийняттю в процесі поєдинку адекватних рішень. Це підтвердилось під час обговорення результатів імітаційного моделювання з тренерами [3, 6]. Виявилось, що спортсмени, у яких напруження кисню в тканинах мозку було низьким, у разі необхідності змінити тактику в процесі поєдинку відчували утруднення, губилися, неправильно оцінювали свій стан і стан суперника, іноді навіть забували виконати добре напрацьовані контрприйоми. У той же час борці, у яких цей показник був високим, у таких ситуаціях реагували адекватно і повністю могли змінити тактику, навіть якщо їх суперники діяли не так, як від них чекали. Для спортсменів, які проводять по кілька поєдинків на день, дуже важливо відновитися фізично і психологічно, налаштуватися на наступний етап змагань.

Висновки. Запропоноване програмне забезпечення може надати суттєву підтримку у вирішенні комплексу задач, пов'язаних з відбором спортсменів, які спеціалізуються у різних видах спортивних єдиноборств з урахуванням їх здоров'я, рівня розвитку та тренуваності, стану основних систем життєдіяльності організму, які лімітують можливість виконання роботи при різноманітних зовнішніх і внутрішніх збуреннях. Цю систему також можна використати для реабілітації спортсменів після серйозних травм, коли інтенсивні спортивні тренування та змагання були призупинені на значний проміжок часу.

Перспективи подальших досліджень. У цій роботі розглянуто результати імітаційного

моделювання навантаження для конкретних індивідуалізованих моделей борців, що показали адекватність вибраних моделей. Імітація транспорту антигіпоксанту та глюкози проводилася лише на тестових задачах, у автора не було можливості співставити результати розрахунків з натурними експериментами. Це й обумовлює перспективи подальших досліджень — здійснити обстеження групи спортсменів в умовах, що

близькі до реальної змагальної діяльності, процесу відновлення спортсменів при введенні глюкози та антигіпоксанту або без них, індивідуалізувати моделі та для індивідуалізованої моделі підібрати оптимальний шлях відновлення. Досвід роботи з моделями може привести і до постановки нових дослідницьких задач, які можуть виникнути під час відбору, підготовки та відновлення і реабілітації спортсменів.

Література

1. Аралова А. А. Автоматизированная информационная система функциональной диагностики спортсменов / А. А. Аралова, Н. И. Аралова, Л. А. Ковальчук-Химюк, Ю. Н. Онопчук // Управляющие системы и машины. – 2008. – № 3. – С. 73–78.
2. Аралова Н. И. Информационные технологии поддержки принятия решений при реабилитации спортсменов, занимающихся спортивными единоборствами / Н. И. Аралова // Проблемы управления и информатики: междунар. науч.-техн. журн. – 2016. – № 3. – С. 160–170.
3. Аралова Н. И. Прогнозирование состояний борца в процессе поединка на основе математической модели / Н. И. Аралова, Ю. И. Мastykash, Ю. Н. Онопчук, П. О. Белошицкий, Б. А. Подливаев // Компьютерная математика. – 2005. – № 2. – С. 69–79.
4. Аралова Н. И. Модели данных и алгоритмы их обработки при построении интегральных оценок надежности и работоспособности спортсменов / Н. И. Аралова, В. И. Вишенский, Ю. Н. Онопчук // Компьютерная математика. – 2013. – № 1. – С. 151–160.
5. Белошицкий П. В. Автоматизированная информационная система функциональной диагностики альпинистов / П. В. Белошицкий, А. А. Аралова, Н. И. Аралова, Ю. Н. Онопчук // Спорт. медицина. – 2008. – № 1. – С. 55–60.
6. Білошицький П. В. Математичне прогнозування стану борця в поєдинку / П. В. Білошицький, Ю. М. Онопчук, Н. І. Аралова, Б. А. Подліваєв // Спорт. медицина. – 2009. – № 1–2. – С. 55–59.
7. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1968. – 362 с.
8. Гальчина Н. И. Математические модели оценки энергетического ресурса при интенсивной работе и его восстановления в постробочий период / Н. И. Гальчина // Кибернетика и систем. анализ. – 2014. – Т. 50, № 6. – С. 132–136.
9. Гродинз Ф. Теория регулирования и биологические системы / Ф. Гродинз. – М.: Мир, 1966. – 315 с.
10. Коваль Н. В. Современные подходы к фармакологической коррекции гипоксических состояний / Н. В. Коваль, Н. В. Вдовенко, В. А. Козловский, В. П. Кутняк // Спорт. медицина. – 2008. – № 1. – С. 36–42.
11. Колчинская А. З. Дыхание и кислородные режимы дельфинов / А. З. Колчинская, И. Н. Маньковская, А. Г. Мисюра. – К.: Наук. думка, 1980. – 332 с.
12. Ляшко Н. И. Фармакологическая коррекция состояний организма. Математическая модель и ее анализ / Н. И. Ляшко, Г. Ю. Онопчук // Компьютерная математика. – 2005. – № 1. – С. 127–134.
13. Медико-біологічне забезпечення підготовки спортсменів збірних команд України з олімпійських видів спорту / [О. А. Шинкарук, О. М. Лисенко, Л. М. Гунина та ін.]; за заг. ред. О. А. Шинкарук. – К.: Олімп. л-ра, 2009. – 144 с.
14. Новосельцев В. Н. Теория управления и биосистемы / В. Н. Новосельцев. – М.: Наука, 1978. – 319 с.
15. Олейник С. А. Антигипоксанта в спортивной медицине и практике спортивной подготовки / С. А. Олейник, Н. А. Горчакова, Л. М. Гунина // Спорт. медицина – 2008. – № 1. – С. 66–74.
16. Онопчук Ю. Н. Гомеостаз функциональной системы дыхания как результат внутрисистемного и системно-средового информационного

References

1. Aralova, A.A., Aralova, N.I., Kovalchuk-Himyuk, L.A., & Onopchuk, Yu.N. (2008). Avtomatizirovannaya informacionnaya sistema funkcionalnoj diagnostiki sportsmenov [Automated information system of functional diagnostics of athletes]. *Upravlyayushchie sistemy i mashiny – Control systems and machines*, 3, 73-78 [in Russian].
2. Aralova, N.I. (2016). Informacionnye tekhnologii podderzhki prinyatiya reshenij pri reabilitacii sportsmenov, zanimayushchihysya sportivnymi edinoborstvami [Information technologies for decision support in the rehabilitation of athletes engaged in martial arts]. *Problemy upravleniya i informatiki: mezhdunarodnyj nauchno-tekhnicheskij zhurnal – Problems of Management and Informatics: International Scientific and Technical Journal*, 3, 160-170 [in Russian].
3. Aralova, N.I., Mastykash, Yu.I., Onopchuk, Yu.N., Beloshickij, P.A., & Podlivaev, B.V. (2005). Prognozirovaniye sostoyanij borca v processe poedinka na osnove matematicheskoy modeli [Forecasting of the fighter's conditions during the fight based on the mathematical model]. *Kompyuternaya matematika – Computer Mathematics*, 2, 69-79 [in Russian].
4. Aralova, N.I., Vishenskij, V.I., & Onopchuk, Yu.N. (2013). Modeli dannyh i algoritmy ih obrabotki pri postroenii integralnyh ocenok nadezhnosti i rabotosposobnosti sportsmenov [Data models and algorithms for their processing in the construction of integral assessments of the reliability and performance of athletes]. *Kompyuternaya matematika – Computer Mathematics*, 1, 151-160 [in Russian].
5. Biloshickij, P.V., Aralova, A.A., Aralova, N.I., & Onopchuk, Yu.N. (2008). Avtomatizirovannaya informacionnaya sistema funkcionalnoj diagnostiki alpinistov [Automated Information System for Functional Diagnostics of Mountaineers]. *Sportivnaya medicina – Sports medicine*, 1, 55-60 [in Russian].
6. Biloshickij, P.V., Onopchuk, Yu.M., Aralova, N.I., & Podlivaev, B.A. (2009). Matematichne prognozuvannya stanu borcy v poedinku [Mathematics predicted that I will become a struggler in the curve]. *Sportivna medicina – Sports medicine*, 1–2, 55-59 [in Ukrainian].
7. Buslenko, N.P. (1968). *Modelirovaniye slozhnyh sistem [Modeling of complex systems]*. Moscow: Nauka [in Russian].
8. Galchina, N.I. (2014). Matematicheskie modeli ocenki ehnergeticheskogo resursa pri intensivnoj rabote i ego vosstanovleniya v postrabochij period [Mathematical models for estimating the energy resource for intensive work and its restoration during the post-combat period]. *Kibernetika i sistemnyj analiz – Cybernetics and Systems Analysis*, Vol. 50, 6, 132-136 [in Russian].
9. Grodinz, F. (1966). *Teoriya regulirovaniya i biologicheskije sistemy [Theory of regulation and biological systems]*. Moscow: Mir [in Russian].
10. Koval, N.V., Vdovenko, N.V., Kozlovskij, V.A., & Kutnyak, V.P. (2008). Sovremennye podhody k farmakologicheskoy korrakcii gipoksicheskikh sostoyanij [Modern approaches to pharmacological correction of hypoxic conditions]. *Sportivnaya medicina – Sports medicine*, 1, 36-42 [in Russian].
11. Kolchinskaya, A.Z., Mankovskaya, I.N., & Misyura, A.G. (1980). *Dyhanie i kislorodnye rezhimy delfinov [Respiration and oxygen regimes of dolphins]*. Kyiv: Naukova Dumka [in Russian].
12. Lyashko, N.I., & Onopchuk, G.Yu. (2005). Farmakologicheskaya korrakcija sostoyanij organizma. Matematicheskaya model i eyo analiz. [Pharmaco-

взаимодействия / Ю. Н. Онопчук // Биоэкомедицина. Единое информационное пространство. – К. – 2001. – С. 59–81.

17. Платонов В. Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и практические приложения / В. Н. Платонов. – К. : Олимп. лит., 2004. – 808 с.

18. Полинкевич К. Б. Конфликтные ситуации при регулировании основной функции дыхания организма и математические модели их разрешения / К. Б. Полинкевич, Ю. Н. Онопчук // Кибернетика. – 1986. – № 3. – С. 100–104.

19. Спортивная медицина: учеб. для студентов высш. учеб. заведений / Л. Я.-Г. Шахлина, Б. Г. Коган, Т. Ф. Терещенко, В. П. Тищенко, С. М. Футорный; под ред. Л. Я.-Г. Шахлиной. – К.: Наук. думка, 2016. – 452 с.

20. Сулова Н. М. Порівняльний аналіз математичних моделей прогнозування розвитку цукрового діабету (за даними літературних джерел) / Н. М. Сулова, С. М. Злепко, П. Г. Прудіус // Вимірюв. та обчислюв. техніка в технолог. процесах. – 2011. – № 1. – С. 185–191.

21. Dickinson C. J. A computer model of human respiration / C. J. Dickinson. – Lancaster: Medical and Technical Publishing, 1977. – 294 p.

22. Онопчук Ю. Н. Mathematic models and integral estimation of organism systems reliability in extreme conditions / Yu. N. Onopchuk, N. I. Aralova, P. V. Beloshitsky, O. M. Klyuchko // Electronics and control systems. – 2015. – N 4. – P. 109–115.

ological correction of body conditions. Mathematical model and its analysis]. *Kompyuternaya matematika – Computer Mathematics*, 1, 127-134 [in Ukrainian].

13. Shinkaruk, O.A., Lisenko, O.M., & Gunina, L.M. (2009). *Medyko-biologichne zabezpechennya pidgotovky sportsmeniv zbirnykh komand Ukrayini z olimpiyskykh vydiv sportu [Medico-biological support for the preparation of athletes of national teams of Ukraine for Olympic sports]*. O.A. Shinkaruk (Ed.). Kyiv: Olimpiyska literatura [in Ukrainian].

14. Novoselcev, V.N. (1978). *Teoriya upravleniya i biosistemy [Management Theory and Biosystems]*. Moscow: Nauka [in Russian].

15. Olejnik, S.A., Gorchakova, N.A., & Gunina, L.M. (2008). Antigipoksanty v sportivnoj medicine i praktike sportivnoj podgotovki [Antihypoxants in sports medicine and practice of sports training]. *Sportivnaya medicina – Sports medicine*, 1, 66-74 [in Russian].

16. Onopchuk, Yu.N. (2001). Gomeostaz funkcionalnoj sistemy dyhaniya kak rezultat vnutrisistemnogo i sistemno-sredovogo informacionnogo vzaimodejstviya [Homeostasis of the functional respiratory system as a result of intrasystemic and system-environment information interaction]. *Bioehkomecicina. Yedinoe informacionnoe prostranstvo – Biocomedicine. Single Information Space*. Kiev, 59-81 [in Russian].

17. Platonov, V.N. (2004). *Sistema podgotovki sportsmenov v olimpijskom sporte. Obshchaya teoriya i prakticheskie prilozheniya [The system of training athletes in the Olympic sport. General theory and practical applications]*. Kiev: Olimpijskaya literatura [in Russian].

18. Polinkevich, K.B., & Onopchuk, Yu.N. (1986). Konfliktnye situacii pri regulirovanii osnovnoj funkcii dyhaniya organizma i matematicheskie modeli ih razresheniya [Conflict situations in the regulation of the basic function of the body and mathematical models for their resolution]. *Kibernetika – Cybernetics*, 3, 100-104 [in Russian].

19. Shakhlina, L.Ya.-G., Kogan, B.G., Tereschenko, T.A., Tischenko, V.P., Futorny, S.M. (2016). *Sportivnaya meditsina (Sports medicine)*. L. Ya.-G. Shakhlina (Ed.). Kiev: Nauk. dumka [in Russian].

20. Surova, N.M., Zlepko, S.M., & Prudius, P.G. (2011). Porivnyalniy analiz matematichnih modeley prognozuvannya rozvitku tsukrovogo diabetu (za danimi literaturnih dzherel) [Comparative analysis of mathematical models for predicting the development of diabetes mellitus (according to literature sources)]. *Vimiryuvalna ta obchislyuvalna tehnika v tehnologichnih protsesah – Measuring and computing engineering in technological processes*, 1, 185-191 [in Ukrainian].

21. Dickinson, C.J. (1977). *A computer model of human respiration*. Lancaster: Medical and Technical Publishing.

22. Onopchuk, Yu.N., Aralova, N.I., Beloshitsky, P.V., & Klyuchko, O.M. (2015). Mathematic models and integral estimation of organism systems reliability in extreme conditions. *Electronics and control systems*, 4, 109-115.