



Сучасні підходи до об'єктивізації функціонального стану організму спортсменів при поточних обстеженнях

¹Романчук О.П., ²Гузій О.В.

¹Міжнародний гуманітарний університет, Україна

²Львівський державний університет фізичної культури
ім. Івана Боберського, Україна

DOI: [https://doi.org/10.15391/prrht.2020-5\(1\).02](https://doi.org/10.15391/prrht.2020-5(1).02)

Мета: проаналізувати існуючі підходи до оцінки функціонального стану спортсменів, які використовуються у навчально-тренувальному процесі спортсменів для визначення ознак напруження серцево-судинної, дихальної та вегетативної нервової систем при поточних обстеженнях. **Матеріал і методи:** Аналіз різних діагностичних підходів показав, що існує декілька методик, які активно використовуються у навчально-тренувальному процесі для визначення функціонального стану спортсменів у «польових умовах». Акцитується увага на методах дослідження автономної нервової системи. **Результати:** Принципово відмінною є методика D&K, яка на рівні з визначенням автономної регуляції серцевого ритму дозволяє охарактеризувати енергетичні процеси в організмі спортсменів. Проте, вона має певні обмеження. Методика фазаграфії дозволяє на рівні з оцінкою автономної регуляції серцевого ритму визначати стан міокарду за параметрами його реполяризації. Методика спіроартеріокардіоритмографії (САКР) дозволяє оцінити автономну регуляцію серцевого ритму, артеріального тиску, регуляцію дихання, центральну гемодинаміку, а також взаємодії між дихальною та серцево-судинною системами. **Висновки:** проведений аналіз дозволяє стверджувати найбільшу перспективність використання САКР. Так, до інформативних критеріїв, які можуть бути використані для об'єктивізації стану організму та окремих його систем в умовах навчально-тренувального процесу окрім відомих параметрів варіабельності серцевого ритму, відносяться параметри варіабельності артеріального тиску, які характеризують перенапруження скорочувальної функції серця та тону судин; параметри варіабельності та паттерну дихання, які свідчать про регуляторну напруженість системи зовнішнього дихання. Інформативним показником є чутливість артеріального барорефлексу.

Ключові слова: спортсмени, функціональний стан, поточний контроль.

Вступ. Сучасні умови підготовки висококваліфікованих спортсменів вимагають вибору ефективних засобів корекції (фізичної терапії) функціонального стану організму, які б дали змогу коригувати зміни в організмі, що виникають за впливу фізичних навантажень, без надмірних втручань у навчально-тренувальний процес [6; 9; 21; 28; 37; 40; 51; 52; 59; 76]. Відомо, що максимізація продуктивності спортсмена є не тільки частиною тренувального процесу. Вона також залежить від оптимального балансу між тренуванням і відновленням, що є запорукою запобігання дизадаптації, яка може виникати через накопичення психологічних і фізіологічних стресів, спричинених навчально-тренувальним навантаженням [20; 22; 24; 26]. З цих позицій необхідно згадати, що фізичні навантаження, які є беззаперечною умовою зростання рівня тренуваності, з іншого боку можуть викликати фізичне перевантаження та супроводжуватись адекватним та неадекватним відновленням [22; 30; 41]. У першому випадку це є умовою зростання тренуваності, а у другому – передумовою формування передпатологічних станів функціонального [33; 34; 36; 47; 58] та нефункціонального перенапруження [57; 64], а також розвитку перетренованості [35; 43; 53; 60; 61]. На рівні з нервово-м'язовим апаратом провідна роль у формуванні цих станів належить вегетативній та кардіореспіраторній системам [38; 46; 54; 41; 60; 61; 70].

Не зупиняючись на небезпечних ускладненнях впливу значних фізичних навантажень, до яких відноситься гостре фізичне перенапруження, адже воно розвивається безпосередньо під час або одразу після фізичного навантаження та має чіткі клінічні прояви [8; 14; 71], що у більшості випадків вимагає надання невідкладної допомоги, звернемо увагу на стани, які мають донозологічні ознаки з боку кардіореспіраторної системи [1; 5; 10; 11; 19; 39; 62; 68].

В зв'язку з відсутністю чітких нозологічних ознак, на думку багатьох науковців [1; 28; 55; 63; 72] однією з основних ланок діагностики донозологічних станів має бути



визначення функціонального стану вегетативної нервової системи (ВНС), а саме тонусу її гілок та збудливості. Адже саме збалансоване функціонування ВНС забезпечує можливість спортсмена щодо максимального використання функціональних резервів серцево-судинної, дихальної та інших систем організму, визначає доцільну економізацію функцій та впливає на швидкість процесів відновлення організму [7; 45; 53; 57; 58; 74]. З іншого боку дизадаптація ВНС, яка є, як правило, ранньою ознакою, призводить до погіршення адаптації до навантажень і спричиняє за собою зниження працездатності [17; 28; 30; 31; 42; 60], а зрив адаптації ВНС може призводити до виникнення клінічно значущих порушень підтримки судинного тонусу у вигляді гіпер-, гіпо-, або дистоній, що супроводжується порушеннями ритму серця, системної та центральної гемодинаміки [11; 12; 28; 47].

Ранніми об'єктивними ознаками з боку серцево-судинної та вегетативної систем є перехід брадикардії в тахікардію в стані спокою; зміна вегетативного тонусу з ейтонічного і парасимпатичного в симпатичний; підвищення, або зниження артеріального тиску; неадекватна реакція ЧСС на зміну положення тіла, зміни зубця Т на ЕКГ з позитивного в ізоелектричний або негативний; порушення кровонаповнення і тонусу судин головного мозку на РЕГ; збільшення амплітуди моди (АМО); зменшення тривалості інтервалів RR, збільшення індексу напруги (ІН), зниження загальної потужності варіабельності серцевого ритму (ТР, мс²), зниження надсегментарних впливів (VLF, мс²) на серцевий ритм, переважання низькочастотних впливів (LF, мс²) над високочастотними (HF, мс²), що свідчить про посилення впливу симпатичного відділу ВНС і зростання ступеня централізації управління серцевим ритмом [5; 19; 31], а також уповільнення процесів відновлення цих показників при спеціальних тестах та фізичних навантаженнях [5; 31; 37; 39; 41; 52].

До ознак, які свідчать про погіршення резервних можливостей серцево-судинної системи, а також вегетативну дисфункцію слід також віднести уповільнення внутрішньо-серцевої провідності на тлі збільшення ЧСС та стандартизованого QT в стані спокою та появу різко вираженої синусової аритмії, міграції водія ритму, екстрасистолій, СА і АВ-блокад, ознак міокардіодистрофії за даними ЕКГ-дослідження [8; 11; 14; 60], збільшення показника симетрії зубця Т (β_T , у.о.) та зменшення його середньоквадратичного відхилення (СКВ β_T , у.о.) за даними фазаграфії [17]; збільшення загальної потужності варіабельності систолічного (ТР_{СТ}, мм рт.ст.²) та діастолічного (ТР_{ДТ}, мм рт.ст.²) артеріального тиску, а також збільшення надсегментарних впливів на систолічний (VLF_{СТ}, мм рт.ст.²) та діастолічний (VLF_{ДТ}, мм рт.ст.²) артеріальний тиск [69]; зменшення чутливості симпатичної складової артеріального барорефлексу (BR_{LF}, мм рт.ст./мс) на тлі незмінності парасимпатичної складової (BR_{HF}, мм рт.ст./мс) за даними спектрального аналізу варіабельності артеріального тиску [7; 35], що супроводжується зниженням, або підвищенням загального периферичного опору судин за даними дослідження системної гемодинаміки [47]. Інформативність останніх показників показана також при обстеженні хворих з різними захворюваннями серцево-судинної, дихальної та вегетативної нервової систем, як в умовах стаціонарного, так і відновного лікування [2; 10; 18; 25; 73].

Значущими є показники системної гемодинаміки, особливо ударного об'єму (УО, см³), хвилинного об'єму кровообігу (ХОК, л), які характеризують можливості максимальної аеробної потужності та фізичної працездатності спортсменів [16; 47, 60]. Дослідження цих показників гемодинаміки в стані спокою, як правило, визначає економізацію функції серцево-судинної системи, а їх дослідження при фізичному навантаженні, при проведенні стрес-ехокардіографії, дозволяє охарактеризувати насосну функцію міокарду та внутрішньо-серцеву гемодинаміку [8]. Проте, можливості її використання в умовах поточних та оперативних обстежень обмежені. Тому частіше користуються розрахунковими методами визначення показників системної гемодинаміки, наприклад, за методом запропонованим Кім та інш. [56].

Відомими є ознаки ураження органів дихання, які розвиваються при гострому фізичному перенапруженні, які полягають у виникненні бронхоспазму (так званої астми фізичного напруження), розвитку емфіземи легень, спонтанного пневмотораксу [28]. Всі ці стани мають чіткі клінічні ознаки та, як правило, вимагають негайної госпіталізації та надання відповідної медикаментозної, або навіть хірургічної допомоги. В той же час,



донозологічних ознак ураження органів дихання обмаль, в першу чергу, до них слід віднести тахіпное у стані спокою, зменшення життєвої ємності легень (ЖЄЛ, мл), погіршення об'ємної швидкості форсованого видиху, зміни індексу Тіффно [45; 60]. У наших попередніх дослідженнях [46; 68] було показано, що погіршення функціонального стану організму у спортсменів супроводжується істотним збільшенням загальної потужності дихання у спокої (TR_d , $(л/хв)^2$) за даними спектрального аналізу варіабельності дихання, а також зменшення об'ємної швидкості видиху (V_{exp} , л/с) та показника співвідношення тривалості вдиху та видиху (T_{ins}/T_{exp}) при проведенні ультразвукової спірометрії [66; 68]. До речі, достатньо інформативними виявились зміни цих та низки інших показників при аналізі функціонального стану дихальної системи хворих з персистуючим та інтермітуючим перебігом бронхіальної астми [25].

Істотну роль у визначенні функціонального стану серцево-судинної, дихальної та вегетативної нервової систем мають якісні та кількісні тести з різними подразниками, в першу чергу, зі стандартними та дозованими фізичними навантаженнями, зміною положення тіла, використанням медикаментів тощо [30]. Проте, не перераховуючи їх значну кількість, необхідно зазначити, що більшість з них є мало прийнятними при поточних обстеженнях спортсменів, які є основною формою контролю в навчально-тренувальному процесі. Останнім часом з'явилися можливості оперативного контролю максимального споживання кисню (МСК, л) з використанням газоаналізаторів MetaMax 3B (Cortex, Німеччина) при тренувальних навантаженнях [16]. В той же час, доцільність їх застосування також є обмеженою за рахунок необхідності виконання навантажень до відмови, що у більшості випадків є неприйнятним. Достатньо широко при оперативному контролі використовуються монітори серцевого ритму [38; 41; 44; 54; 62; 63], які дозволяють проводити безпосередній аналіз як абсолютних значень ЧСС, так і ритмограми. Багатьма авторами пропонуються нові методи аналізу послідовностей кардіоінтервалів, проте у більшості випадків використовують спектральний аналіз окремих відрізків, з виокремленням показників математичного та спектрального аналізу серцевого ритму [44].

В цілому характеризуючи всі згадані методи оцінки функціонального стану організму спортсменів можна констатувати, що їх інформативність може бути значущою тільки за умови динамічного спостереження за окремими особами, адже у більшості випадків значення окремих параметрів будуть знаходитись в межах нормативно-зважених популяційних [21; 22].

Тобто, важливою складовою донозологічної діагностики спортсменів є індивідуалізація оцінки досліджуваних показників, яка доповнюється іншими, наприклад, біохімічними, психофізіологічними ознаками недовідновлення організму після тренувальних та змагальних навантажень. В той же час, навіть на сьогодні, використання біохімічних методів в навчально-тренувальному процесі є обмеженим через їх інвазивність [30; 60].

Останнє вимагає на тлі адекватного планування тренувального процесу використання неінвазійних засобів ранньої діагностики станів функціонального і нефункціонального перенапруження в «польових умовах», що можливо тільки з використанням сучасних валідних еспресних методів функціональної діагностики стану спортсмена.

Мета дослідження: огляд сучасних підходів до оцінки функціонального стану кардіореспіраторної системи спортсменів при поточних обстеженнях.

Історія використання методів функціональної діагностики за фізіологічними параметрами у спорті є достатньо тривалою, адже вона починається з телеметричних досліджень, які почалися у 40-х роках минулого сторіччя [4]. З іншого боку їх широке впровадження у практику обмежене з урахуванням багатьох чинників, в першу чергу, складністю використання в умовах навчально-тренувального та змагального процесів при поточних та оперативних обстеженнях.

Останніми роками арсенал таких досліджень істотно поповнився, що пов'язано із розвитком інформаційних технологій. В практику спорту та моніторингу спортсменів широко впроваджуються вимірювання фізіологічних та кінатропометричних параметрів з використанням мобільних пристроїв [3; 13]. Їх використання зумовлено можливістю



застосування у польових умовах, що, на думку багатьох практиків підвищує інформованість спортсмена та тренера про тренувальне навантаження. Найбільш поширеними сьогодні є програми, що базуються на даних системи глобального позиціонування, монітори серцевого ритму та акселерометри. При цьому деякі програми не вимагають наявності додаткових датчиків, а використовують дані мобільного пристрою. При цьому точність вимірів та їх вірогідність є часто невідомими. Технічна можливість мобільних пристроїв для збору фізіологічних та антропометричних даних забезпечується двома основними способами: а) як реєстратора даних і інтерфейсу для периферійного прикріплення, і б) з використанням зовнішніх датчиків (наприклад, мікрофону, камери), а також внутрішнього процесора пристрою для збору і інтерпретації сигналів [13]. Проте, на даний момент, можливості даних пристроїв є обмеженими для оцінки функціонального стану організму в умовах поточного контролю, адже вхідної інформації обмаль.

Певна перевага є у приладів, які мають декілька датчиків, та спроможні одночасно реєструвати сигнали з різних динамічних систем організму. Останнє дозволяє аналізувати не тільки функцію окремих систем, а й досліджувати їх взаємодію, адже можливості одночасної реєстрації параметрів дозволяють визначати безпосередні кореляційні зв'язки між різними функціями [10]. Особливої актуальності такі прилади набувають при можливості проведення досліджень в «польових» умовах.

Тут слід згадати систему інструментальної діагностики, запропоновану та розроблену С.А. Душаніним та В.П. Карленко – D&K [11], яка дозволяє проводити експрес-оцінку енергетичного обміну у спортсменів високої кваліфікації. В основу діагностики покладений вертикальний аналіз зубців R і S ЕКГ в грудних відведеннях за Вільсоном і спеціальних відведеннях першої похідної з використанням сучасних комп'ютерних технологій [11]. Прикладна програма здійснює автоматизовану зйомку ЕКГ з подальшим розрахунком динаміки індивідуальних і групових показників. Методика дозволяє розраховувати та аналізувати: ЗМЕ (загальна метаболічна ємність організму, у.о.), АНАМЕ (анаеробна метаболічна ємність, у.о.), АМЕ (аеробна метаболічна ємність, у.о.), АНАМЕ/ЗМЕ (схильність організму до переважно анаеробного енергозабезпечення м'язової діяльності, у.о.), АМЕ/ЗМЕ (схильність організму до переважно аеробного енергозабезпечення м'язової діяльності, у.о.), ПКД (потужність креатинфосфатного джерела енергозабезпечення м'язової діяльності, у.о.), ПГЛД (потужність гліколітичного джерела енергозабезпечення м'язової діяльності організму, у.о.), МПК (потужність аеробного джерела енергозабезпечення м'язової діяльності організму (у.о.), ПАНО (ефективність використання аеробного джерела енергозабезпечення м'язової діяльності, у.о.), ЧСС на ПАНО (частота серцевих скорочень на рівні ПАНО, у.о.), dЗМЕ (загальний енергетичний фонд) [30]. Дана методика достатньо широко використовується на практиці, проте, має певні обмеження, пов'язані із жорстким дотриманням умов реєстрації та проблемами наукового обґрунтування, адже заснована на розрахункових непрямих критеріях. В той же час на думку розробників її ступінь вірогідності складає 70-95%.

Певної уваги заслуговує прилад «Фазаграф», який дозволяє проводити аналіз вегетативної регуляції серцевої діяльності, а також тонкий аналіз термінальної частини комплексу QRST [32], а саме оцінки зубця Т за показниками симетрії зубця Т (β_T , у.о.) та його середньоквадратичного відхилення ($СКВ\beta_T$, у.о.). Його апробація у клінічних умовах та умовах навчально-тренувального процесу спортсменів різних видів спорту вказала на істотну інформативність щодо визначення функціонального стану організму хворих з серцево-судинної патологією та спортсменів [16; 17; 29].

Проте, нашу увагу привернув метод спіроартеріокардіоритмографії (САКР). САКР – метод дослідження кардіореспіраторної системи заснований на технічному поєднанні реалізованих раніше методик дослідження ритмологічних характеристик серцевого ритму, артеріального тиску і зовнішнього дихання. Прилад САКР здійснює безперервне неінвазивне вимірювання АТ, реєстрацію потоків вдихуваного і видихуваного повітря, реєстрацію ЕКГ і поєднаний аналіз цих динамічних процесів. До складу приладу входять: комп'ютер, "Артеріоритмограф", "Кардіоритмограф" і високочутливий ультразвуковий спірометр [66].

Для реєстрації ЕКГ до складу приладу САКР включений "Кардіоритмограф", який складається з електронного блоку, зв'язаного з ЕОМ, що виконує функції управління і



обробки інформації, і кабелю відведення з електродами У прикладній програмі передбачена ручна корекція положення меж піків ЕКГ і оцінка належної тривалості інтервалів залежно від ЧСС.

Для дослідження варіацій артеріального тиску до складу приладу САКР включений "Артеріоритмограф", який здійснює тривале безперервне неінвазивне вимірювання АТ. Принцип безперервного вимірювання тиску базується на методі «розвантаженої артерії» [75]. Цей метод заснований на безперервній оцінці об'єму судин пальця за фотоплетизмографічним сигналом і стежачій електропневматичній системі, що створює тиск, протидіючий зміні діаметру артеріальних судин, які проходять під манжетою, в пальці руки. Так забезпечується постійність діаметру артерій пальця, в них підтримується незмінний розтягуючий тиск рівний нулю, а тиск в манжеті повторює тиск крові в артеріях пальця. Принципове значення для реалізації цього методу має вибір «початкового» тиску в манжеті, щодо якого відбувається стеження. У САКР реалізований спосіб визначення середнього АТ осцилометричним методом. Відносно нього й відбувається стеження.

У одночасному записі ЕКГ і АТ між двома послідовними комплексами QRS усередині кожного інтервалу RRi за пульсовою хвилею визначається ДТi і СТi. Аналогічно аналізу ВСР, в спектрах ВАТ виділяються три головних спектральних складових: понаднижкочастотні VLF_{ДТ} і VLF_{СТ}, низькочастотні LF_{ДТ} і LF_{СТ} і високочастотні HF_{ДТ} і HF_{СТ} компоненти ДТ і СТ, відповідно [35; 50; 66; 69].

З урахуванням поєднаних змін ВСР та ВАТ За формулами розраховуються чутливості артеріального барорефлексу у низькочастотному та високочастотному діапазонах [65; 67], розрахунковим методом, запропонованим Кім, визначаються також параметри кардіогемодинаміки [56].

Дослідження вегетативних реакцій диктують необхідність вимірювання, як малих об'ємів повітря <0,5л при середньому часі циклу близько 4 с при спокійному диханні, так і великих потоків до 8-10 л/с при деяких фізіологічних пробах. Слід акцентувати увагу на тому, що дихання не повинне стримуватися малим прохідним перетином, адже це знижує швидкість потоку в реєстраторі при малих об'ємах і посилює вимоги до чутливості приладу.

Вказаним вимогам стандартні спірометри, що випускаються промисловістю, не задовольняють, тому для приладу САКР був розроблений спеціалізований датчик, заснований на вимірюванні швидкості повітряного потоку ультразвуковим методом. У спірометрі САКР реалізовано два різні способи обробки інформації. Перший спосіб застосовується для аналізу результатів тривалої реєстрації дихання одночасно з СР і АТ, другий, - при проведенні стандартних тестів для визначення ЖЄЛ і бронхіальної прохідності при форсованому видиху. У першому випадку розраховуються спектральні характеристики об'ємної швидкості потоку повітря і паттерн пересічного циклу дихання. Спектральні характеристики об'ємної швидкості потоку повітря розраховуються аналогічно ВСР, три головних спектральних складових виділяються в спектрах: особливо низькочастотні VLF, низькочастотні LF і високочастотні HF компоненти об'ємної швидкості дихання. Вони обчислюються в (л/хв.)². Спірометром також передбачено виконання відомих стандартних тестів, з використанням яких діагностується тип вентиляції легень – рестриктивний і обструктивний [10; 66].

Тобто, з використанням САКР можливо проаналізувати та оцінити стан вегетативної регуляції серцевого ритму та артеріального тиску, регуляції та паттерну дихання, а також збудливості, провідності міокарду, процесів реполяризації шлуночків, розрахувати показники системної гемодинаміки. Крім того є можливість визначення показників взаємодії різних підсистем кардіореспіраторної системи. Наприклад, чутливості артеріального барорефлексу, індексу Хільдебрандта, низки показників об'ємної синхронізації діяльності серця (за показниками системної гемодинаміки) та дихальної системи (за показниками спірометрії) [15].

За даними САКР дослідження нами були апробовані декілька моделей оцінки результатів.

Перша модель базувалась на визначенні відхилень окремих показників автономної регуляції серцевого ритму, систолічного та діастолічного артеріального тиску, а також дихання від нормативно зважених значень перцентильного розподілу [50]. Дана модель



може доповнюватись даними про реактивність автономної регуляції серцевого ритму та артеріального тиску при виконанні тестів з керованим диханням 6 та 15 раз на хвилину [27; 48; 49; 74].

Друга модель базувалась на оцінці показників VCP, запропонованою Шлик Н.І., коли на підставі результатів визначався тип регуляції серцевого ритму з визначенням переважання центрального або автономного контуру регуляції. В основу даної моделі оцінки покладено оцінку показників ІН та VLF (mc^2) [31]. Проте, при певній зручності визначення функціонального стану організму спортсменів, визначення показників, які можна було б використовувати у якості критеріїв впливу, утруднене і дозволяє тільки користуватися висновками щодо централізації (з переважанням симпатичних), або автономізації (з переважанням парасимпатичних) регуляції серцевого ритму. Тому, на нашу думку, дана модель вимагає удосконалення з позицій визначення більш значної кількості функціональних параметрів, які можна було використовувати у якості критеріїв впливу та його ефективності.

В більш ранніх наших дослідженнях було показано, що варіабельність серцевого ритму (VCP) та варіабельність систолічного та діастолічного артеріального тиску (VCT та VDT) змінюються з різною частотою дихання, та є найбільшими при частоті дихання 6 та менше разів на хвилину. В дослідженнях багатьох авторів було показано, що така особливість пов'язана з синхронізацією з низькочастотними впливами (LF), які ідентифікуються як такі, що активують симпатичний відділ ВНС. Це призводить до істотного збільшення показника LF/HF, який свідчить про співвідношення активності симпатичної та парасимпатичної гілок ВНС. Останнє може вводити в оману щодо оцінки стану ВНС. З іншого боку, частота дихання 15 разів на хвилину синхронізується з високочастотними впливами (HF), які відповідальні за активність парасимпатичного відділу ВНС. При цьому показники VCP, VCT та VDT, або не відрізняються від отриманих при спонтанному диханні, або зменшуються, та є чи не найменшими з усіх варіантів змін частоти дихання. Хоча отримані результати були отримані при різночастотному спонтанному диханні спортсменів, вони дозволили нам запропонувати для спортсменів триступінчатий дихальний тест, який передбачає послідовну двоххвилинну реєстрацію VCP, VCT та VDT при довільному диханні, при керованому диханні 6 разів на хвилину та керованому диханні 15 разів на хвилину з оцінкою змін VCP, VCT та VDT. У подальшому було проведено апробацію його у практично здорових осіб та спортсменів з визначенням тону ВНС та реакції ВНС і серцево-судинної системи на модулюючий вплив різночастотного дихання. Ця модель була також апробована в концепціях саногенетичного моніторингу та у подальшому санотипування [10; 18; 21; 22; 23; 26], які передбачали визначення функціональних напружень в окремих системах на підставі встановлення місця в загальному розподілі індивідуальних параметрів. Останнє дозволяло, з урахуванням досліджуваних підсистем за окремими показниками визначати рівень функціональної напруженості в системах регуляції скорочувальної функції серцевого м'яза; вегетативної регуляції серцевого ритму; підтримки артеріального тиску; вегетативної і барорефлекторної регуляції артеріального тиску; регуляції дихання; гемодинаміки [23]. За результатами впровадження було показано інформативність даного підходу щодо оцінки змін функціонального стану організму спортсменів різних видів спорту в навчально-тренувальному процесі та за впливу фізичних навантажень, а також оцінки ефективності заходів медичної реабілітації на етапі санаторно-курортного лікування.

Висновок. Тобто, огляд сучасних методів об'єктивізації функціонального стану спортсменів в умовах поточного контролю в більшій мірі дозволяє стверджувати інформативність та перспективність застосування полісистемних та поліфункціональних методів дослідження, які дозволяють надати комплексну оцінку функціональному стану організму та охарактеризувати стан найбільш функціонально напружених систем. До таких методів відноситься САКР. За даними наших досліджень серед інформативних критеріїв САКР, які можуть бути використані у якості базових щодо об'єктивізації стану організму та окремих його систем в умовах навчально-тренувального процесу спортсменів, при тестуванні у спокої, відносяться параметри VCP – TP (mc^2), VLF (mc^2), ІН (у.о.), RMSSD (мс), а також співвідношення LF (mc^2) та HF (mc^2), які свідчать про



особливості вегетативної регуляції серцевого ритму та можуть бути корисними у визначенні станів перевтоми та перенапруження; параметри $VAT - TP_{CT}$ (мм рт.ст.²), TP_{DT} (мм рт.ст.²), співвідношення LF_{DT} (мс²) та HF_{DT} (мм рт.ст.²), які характеризують перенапруження скорочувальної функції серця та тону судин; параметри ВД та паттерну дихання – TP_D (л/хв)², V_{exp} (л/с), які свідчать про регуляторну напруженість системи зовнішнього дихання. Інформативними щодо впливу фізичних навантажень на організм також є показники взаємодії регуляторних контурів серцевого ритму та артеріального тиску, а саме чутливості артеріального барорефлексу BR_{LF} (мм рт.ст./мс) та BR_{HF} (мм рт.ст./мс). Певну перспективу можуть мати показники частотної та об'ємної синхронізації (ЧСС/ЧД та ХОК/ХОД), аналіз яких засвідчує взаємодію дихальної та серцево-судинної системи. Інформативними щодо оцінки функціонального стану організму спортсменів виявилися також зміни показників ВСР при виконанні тестів з керованим.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з уточненням та розробкою нових поліфункціональних критеріїв порушень функціонального стану організму спортсменів при розвитку перевтоми, перенапружень серцево-судинної та дихальної систем, які можна було б використовувати з метою цілеспрямованої корекції стану організму спортсменів в умовах навчально-тренувального та змагального процесів.

Список використаної літератури

1. Баевский, Р. М., Берсенева, А. П. (2008). *Введение в донозологическую диагностику*. М.: Слово.
2. Бажора, Я. І., Романчук, О. П. (2018). Варіабельність та паттерн дихання пацієнтів з персистуючим перебігом бронхіальної астми та ожирінням. *Український журнал медицини, біології та спорту*, 3(7), 74–83.
3. Васюк В. (2018). Мобильные аппаратно-программные средства в спорте. *Наука и инновации*, 5(183), 22-25
4. Владзимирский, А. В. (2016). *Телемедицина: Curatio Sine Tempora et Distantia*. М.
5. Гузій, О. В. (2019). Зміни типів автономної регуляції серцевого ритму за впливу інтенсивних фізичних навантажень. *Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова*, 10(118), 43-49.
6. Гузій, О. В., Вовканич, А. С. (2018). Засоби фізичної терапії у відновленні організму спортсменів у навчально-тренувальному процесі. *Спортивна наука України*, 6(88), 11-19.
7. Гузій, О. В., Романчук, О. П. (2016). Чутливість артеріального барорефлексу при відновленні організму після тренувального навантаження. *Запорізький медичний журнал*, 3, 24-29.
8. Дзяк, Г. В., Неханевич, О. Б. (2015). Діастолічна функція лівого шлуночка у спортсменів з малими аномаліями розвитку серця. *Медичні перспективи*, 3, 10-15.
9. Дорофєєва, О. Є. (2016). Комплексна оцінка та корекція функціонального стану і резервних можливостей організму спортсменів. *Спортивна медицина і фізична реабілітація*, 2, 25–30.
10. Запорожан, В. Н. (ред.). (2014). *Факторы и механизмы саногенеза*. Одесса: ОНМедУ.
11. Карленко, В. П., Карленко, Н. В., Пшеничнова, А. В. (2008). Кардіомоніторинг "D&K-TEST" як метод діагностики для визначення функціонального стану та резервних можливостей організму спортсменів. *Актуальні проблеми фізичної культури і спорту*. 15, 39-50.
12. Крыжановский, Г. Н. (ред.). (2002). *Дизрегуляционная патология*. М.: Медицина.
13. Курашвили, В. А. (2011). Новые диагностические технологии в спортивной медицине. *Вестник восстановительной медицины*. 5, 75-78.
14. Михалюк, Е. Л., Сыволап, В. В. (2006). Изменение структурно-геометрических, функциональных показателей сердца и содержания тропонина I при метаболической кардиомиопатии вследствие физического перенапряжения у футболистов высокого класса. *Буковинський медичний вісник*, 10(1), 43.
15. Носкин, Л. А., Рубинский, А. В., Романчук, А. П., Марченко, В. Н., Пивоваров, В. В., Черепов, А. В., Заворкина, Л. А. (2018). Изучение сердечно-сосудистого и дыхательного синхронизма при различных режимах дыхания. *Патогенез*, 16(4), 90-96
16. Павличенко, П. П. (2015). Функциональное состояние при проведении тестов функциональной подготовленности у профессиональных футболистов. *Медичні перспективи*, 20 (4), 65–74.
17. Павличенко, П. П. (2015). Влияние игровой нагрузки на функциональное состояние профессиональных футболистов. *Світ медицини та біології*. 1(48), 49-54.
18. Паненко, А. В., Романчук, О. П. (2006). Санотипування у визначенні морфофункціональних детермінант вегетативних розладів. *Медична реабілітація, курортологія, фізіотерапія*, 4, 30-34.



19. Панкова, Н. Б., Богданова, Е. В., Карганов, М. Ю., Эйгель, М. Ю., Кузнецов, П. П., Симаков, О. В. (2013). Посленагрузочная динамика показателей сердечно-сосудистой системы у юных спортсменов (результаты спироартериокардиографии). *Валеология*, 3, 54-60.
20. Платонов, В. Н. (1997). *Общая теория подготовки спортсменов в Олимпийском спорте*. К.: Олимпийская литература, 59-131.
21. Романчук, А. П. (2003). Концептуальные предпосылки саногенетического мониторинга лиц, занимающихся физической культурой и спортом. *Теория и практика физической культуры*, 1, 50-53.
22. Романчук, А. П. (2005). Вегетативная регуляция кардиореспираторной системы в динамике годичного тренировочного цикла. *Теория и практика физической культуры*, 6, 42-45.
23. Романчук А. П. (2008). Санотипирование в определении функциональных особенностей организма спортсменов. *Вестник спортивной науки*. 2, 39-44.
24. Романчук, А. П., Овчарек, А. М., Браславский, И. А. (2006). Вегетативное обеспечение кардиореспираторной системы спортсменов различных специализаций *Теория и практика физической культуры*, 7, 48-50.
25. Романчук, О. П., Величко, В. І., Бажора, Я. І. (2019). Реактивність кардіореспіраторної системи в пацієнтів із бронхіальною астмою за даними тестів із керованим диханням *Запорізький медичний журнал*, 21(4), 449–457.
26. Романчук, О. П., Пісарук, В. В. (2012). Вегетативне забезпечення кардіореспіраторної системи висококваліфікованих важкоатлетів. *Наука і освіта*, 2, 87-90.
27. Романчук, О. П., Пісарук, В.В. (2013). Зміни показників центральної гемодинаміки кваліфікованих спортсменів при тестуванні з використанням керованого дихання та їх оцінка. *Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту*. 11, 77-84.
28. Сокрут, В. Н., Казаков, В. Н. (ред.). (2011). *Медицинская реабилитация в спорте*. Донецк: Каштан,
29. Чайковский, И. А., Батушкин, В. В. (2007). Эффективность оценки течения острого коронарного синдрома по данным анализа первого отведения ЭКГ на фазовой плоскости. *Журнал АМН*. 13 (1), 104-113.
30. Шинкарук, О. А., Лисенко, О. М., Гуніна, Л. М., Карленко, В. П., Земцова, І. І., Олішевський, ...Фокіна, Н. В. (2009). *Медико-біологічне забезпечення підготовки спортсменів збірних команд України з олімпійських видів спорту*. Навчально-методичний посібник. К.: Олімпійська література, 141.
31. Шлык, Н. И. (2009). *Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов*. Ижевск.
32. Файнзильберг Л. С. (2004). *Компьютерный анализ и интерпретация электрокардиограмм в фазовом пространстве. Системні дослідження та інформаційні технології*. 1, 32-46.
33. Aubry, A., Hausswirth, C., Louis, J., Coutts, A. J., Buchheit, M., Le Meur, Y. (2015). The Development of Functional Overreaching Is Associated with a Faster Heart Rate Recovery in Endurance Athletes. *PlosOne*, 10 (10), e0139754.
34. Aubry, A., Hausswirth, C., Louis, J., Coutts, A. J., Le Meur, Y. (2014). Functional overreaching: The key to peak performance during the taper? *Med. Sci. Sports Exerc.* 46, 1769–1777.
35. Baumert, M. (2006). Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 16 (5), 412-417.
36. Bellenger, C. R., Thomson, R. L., Robertson, E. Y., Davison, K., Nelson, M. J., Karavirta, L., Buckley, J. D. (2017). The Effect of Functional Overreaching on Parameters of Autonomic Heart Rate Regulation. *Eur J Appl Physiol*, 117(3), 541–50.
37. Bishop, P. A., Jones, E., Woods, A. K. (2008). Recovery from training: a brief review. *J. Strength Cond Res*, 22, 1015–1024.
38. Bosquet, L., Merkari, S., Arvisais, D., Aubert, A. E. (2008). Is Heart Rate a Convenient Tool to Monitor Over-Reaching? A Systematic Review of the Literature. *Br J Sports Med*, 42 (9), 709–14.
39. Cottin, F., Medigue, C., Papelier, Y. (2008). Effect of heavy exercise on spectral baroreflex sensitivity, heart rate, and blood pressure variability in well-trained humans. *Am. J. Physiol. - Heart Circ. Physiol.*, 295(3), H1150- H1155.
40. Dupuy, O. (2018). An Evidence-Based Approach for Choosing Post-exercise Recovery Techniques to Reduce Markers of Muscle Damage, Soreness, Fatigue, and Inflammation: A Systematic Review With Meta-Analysis. *Front Physiol*, 9(403), 1–15.
41. Esco, M. R., Flatt, A. A. (2014). Ultra-short-term heart rate variability indexes at rest and post-exercise in athletes: evaluating the agreement with accepted recommendations. *J Sports Sci Med*, 13(3), 535-541.
42. Flatt, A. A., Hornikel, B., Esco, M. R. (2017). Heart rate variability and psychometric responses to overload and tapering in collegiate sprint-swimmers. *J Sci Med Sport*, 20, 606–610.



43. Foster, C. (1998). Monitoring Training in Athletes with Reference to Overtraining Syndrome. *Med Sci Sports Exerc.* 30 (7), 1164–68.
44. González-Velázquez, V. E., Cobiellas-Carballo, L. I., Rebutillo-Escobar, R. M., Semanat-Gabely, W., Bueno-Revilla, D. J., López-Galán, E., Sánchez-Hechavarría, M. E., Batista, E. S. (2019). Modifications of the non-linear parameters of the heart rate variability related to the systematic practice of physical exercise. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 38(1), e122.
45. Guenette, J. A., Sheel, A. W. (2007). Physiological consequences of a high work of breathing during heavy exercise in humans. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(6), 341–350.
46. Guziy, O. V., Romanchuk, A. P. (2017). Multifunctional determinants of athletes' health. *Journal of Medicine and Health Research*, 2 (1), 12-21.
47. Guziy, O. V., Romanchuk, A. P. (2017). Differentiation of Hemodynamics of Top Athletes Depending on Heart Rate Variability after Training. *Journal of Advances in Medicine and Medical Research*, 22(3), 1-10.
48. Guzii, O. V., Romanchuk, A. P. (2017). Heart rate variability during controlled respiration after endurance training. *Journal of Physical Education and Sport*, 17(3), 2024 – 2029.
49. Guzii, O. V., Romanchuk, A. P. (2018). Determinants of the functional state of sportsmen using heart rate variability measurements in tests with controlled respiration. *Journal of Physical Education and Sport*, 18(2), 715 – 724.
50. Guzii, O. V., Romanchuk, A. P., Maglovanyi, A. V., Trach, V. M. (2019). Polyfunctional express-evaluation criteria of the sportsman organism state. *Journal of Physical Education and Sport*, 19(4), 2352-2358.
51. Hausswirth, C, Le Meur, Y. (2011). Physiological and nutritional aspects of post-exercise recovery: specific recommendations for female athletes. *Sports Med.*, 41, 861–82.
52. Hausswirth, C, Mujika, I. (2013). *Recovery for performance in sport*. Champaign, IL: Human Kinetics.
53. Hedelin, R, Kenttä, G, Wiklund, U, Bjerle, P, and Henriksson-Larsén, K. (2000). Short-Term Overtraining: Effects on Performance, Circulatory Responses, and Heart Rate Variability. *Med Sci Sports Exerc*, 32 (8), 1480–84.
54. Herzig, D., Asatryan, B., Brugger, N., Eser, P., Wilhelm, M. (2018). The Association Between Endurance Training and Heart Rate Variability: The Confounding Role of Heart Rate. *Front Physiol*, 19(9), 756.
55. Karemaker, J. M. (2017). An introduction into autonomic nervous function. *Physiological Measurement*, 38 (5), R89-R118.
56. Kim, T. H., Hur, J., Kim, S. J., Kim, H. S., Choi, B. W., Choe, K. O., Yoon, Y. W., Kwon, H. M. (2005). Two-phase reconstruction for the assessment of left ventricular volume and function using retrospective ECG-gated MDCT: comparison with echocardiography. *AJR Am J Roentg*, 185(2), 319-325.
57. Le Meur, Y., Buchheit, M., Aubry, A., Coutts, A. J., Hausswirth, C. (2017). Assessing Overreaching with HRR: What Is the Minimal Exercise Intensity Required? *Int J Sports Physiol Perform*, 12 (4), 569-573.
58. Le Meur, Y., Pichon, A., Schaal, K., Schmitt, L., Louis, J., Gueneron, J., Vidal, P. P., Hausswirth, C. (2013). Evidence of Parasympathetic Hyperactivity in Functionally Overreached Athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 45 (11), 2061–71.
59. Minett, G. M., Costello, J. T. (2015). Specificity and context in postexercise recovery: it is not a one-size-fits-all approach. *Front Physiol.*, 6, 130.
60. Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D.,...Urhausen, A. (2013). European College of Sport Science; American college of Sports Medicine. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc*, 45, 186–205.
61. Meeusen, R., Duclos, M., Gleeson, M., Rietjens, G., Steinacker, J., Urhausen, A. (2006). Prevention, Diagnosis and Treatment of the Overtraining Syndrome. *Eur J Sport Sci*, 6 (1), 1–14.
62. Nakamura, F. Y., Flatt, A. A., Pereir, L. A., Ramirez-Campillo, R., Loturco, I., Esco, M. R. (2015). Ultra-Short-Term Heart Rate Variability is Sensitive to Training Effects in Team Sports Players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14(3), 602-605.
63. Nakamura, F. Y., Pereira, L. A., Rabelo, F. N., Flatt, A. A., Esco, M. R., Bertollo, M., et al. (2016). Monitoring weekly heart rate variability in futsal players during the preseason: the importance of maintaining high vagal activity. *J. Sports Sci.*, 34, 2262–2268.
64. Nederhof, E., Zwerver, J., Brink, M., Meeusen, R., Lemmink, K. (2008). Different Diagnostic Tools in Nonfunctional Overreaching. *Int J Sports Med*, 29 (7), 590–97.
65. Parati, G. (2005). Arterial baroreflex control of heart rate: determining factors and methods to assess its spontaneous modulation. *J Physiol*, 565(3), 706-707.



66. Pivovarov, V. V. (2011). Information-measuring system for functional diagnostics of nervous regulation of blood circulation. Part II. The implementation. *Automation and remote control*. 72(3), 671–676.
67. Rienzo, M. Di., Parati, G., Radaelli, A., Castiglioni, P. (2009). Baroreflex contribution to blood pressure and heart rate oscillations: time scales, time-variant characteristics and nonlinearities Philos. *Trans A Math Phys Eng Sci*, 367(1892), 1301–1318.
68. Romanchuk, A. P., Guzii, O. V. (2018). Respiration variability of athletes after competition load. *Rev Bras Med Esporte*, 24(5 Suppl.1), 78.
69. Romanchuk, A. P., Guzii, O. V. (2019). Features of the Blood Pressure Variability of Athletes with Different Levels of Functional State of the Body. *Journal of Education, Health and Sport*, 9(3), 11-20.
70. Taylor, K. L., Chapman, D. W., Cronin, J. B., Newton, M. J., Gill, N. (2012). Fatigue Monitoring in High Performance Sport: A Survey of Current Trends. *J Aust Strength Cond*, 20 (1), 12–23.
71. Thiene, G., Carturan, E., Corrado, D. (2010). Prevention of sudden cardiac death in the young and in athletes: dream or reality? *Cardiovasc. Pathol.*, 6, 15-17.
72. Ten Haaf, T., van Staveren, S., Oudenhoven, E., Piacentini, M. F., Meeusen, R., Roelands, B., Koenderman, L., Daanen, H. AM., Foster, C., de Koning, J. J. (2017). Prediction of functional overreaching from subjective fatigue and readiness to train after only 3 days of cycling. *Int J Sports Physiol Perform*, 12 (Suppl 2), 287-94.
73. Ternovoi, K. S., Romanchuk, A.P, Sorokin, M. Yu., Pankova, N. B. (2012). Characteristics of the Functioning of the Cardio-Respiratory System and Autonomic Regulation in Para-Athletes with Spinal Injury. *Human Physiology*, 38(4), 410–415.
74. Vaschillo, E. G., Fonoberova, M., Mezic, I., Buckman, J. F., Fonoberov, V., Mezic, A. J., Vaschillo, B., Bates, M. E. (2014). A Computational Physiology Approach to Personalized Treatment Models: The Beneficial Effects of Slow Breathing on the Human Cardiovascular System. *AJP Heart and Circulatory Physiology*, 307(7), 1073–1091.
75. Wesseling, K. H. (1990) Finapres, continuous noninvasive finger arterial pressure based on the method of Peñáz. In: Meyer-Sabellek W., Gotzen R., Anlauf M., Steinfeld L. (eds) *Blood Pressure Measurements*. Steinkopff.
76. Wiewelhove, T., Schneider C., Do"weling, A., Hanakam, F., Rasche, C., Meyer, T. (2018) Effects of different recovery strategies following a half-marathon on fatigue markers in recreational runners. *PLoS ONE* 13(11): e0207313.

Modern approaches to the objectification of the functional state of the athletes' body during current examinations

¹O.P. Romanchuk, ²O.V. Guziy

¹International Humanitarian University, Ukraine

²Lviv State University of Physical Culture named after Ivan Bobersky, Ukraine

Purpose: to analyze the existing approaches to the assessment of the functional state of athletes, which are used in the educational and training process of athletes to determine signs of stress on the cardiovascular, respiratory and autonomic nervous systems during current examinations. **Material and methods:** The analysis of various diagnostic approaches showed that there are several methods that are actively used in the educational and training process to determine the functional state of athletes in "field conditions". Emphasis is placed on research methods of the autonomic nervous system. **Results:** The D&K method is fundamentally different, which, on a level with the determination of autonomous heart rhythm regulation, allows characterizing energy processes in the body of athletes. However, it has certain limitations. The phasography technique makes it possible to determine the condition of the myocardium based on its repolarization parameters at the same level as the assessment of the autonomous regulation of the heart rhythm. The technique of spiroarteriocardiorythmography (SAKR) makes it possible to evaluate the autonomous regulation of heart rhythm, blood pressure, regulation of breathing, central hemodynamics, as well as the interaction between the respiratory and cardiovascular systems. **Conclusions:** the conducted analysis allows us to assert the greatest prospects for the use of SAKR. Thus, the informative criteria that can be used to objectify the state of the body and its individual systems in the conditions of the educational and training process, in addition to the known parameters of heart rate variability, include the parameters of blood pressure variability, which characterize overstrain of the contractile function of the heart and vascular tone; parameters of variability and pattern breathing, which indicate the regulatory tension of the external breathing system. An informative indicator is the sensitivity of the arterial baroreflex.

Key words: athletes, functional state, current control.



Відомості про авторів

Романчук Олександр Петрович (O.P. Romanchuk): д-р мед. наук., професор.

Міжнародний гуманітарний університет.

м. Одеса, Україна.

orcid.org/0000-0001-6592-2573

E-mail: doclfc@ua.fm

Гузій Оксана Володимирівна (O.V. Guziy): кандидат наук з фізичного виховання і спорту, доцент.

Львівський державний університет фізичної культури.

м. Львів, Україна.

orcid.org/0000-0001-5420-8526

E-mail: o.guzij@gmail.com