

Аналіз ЕКГ у фазовому просторі як засіб контролю функціонального стану спортсменок, які спеціалізуються у футболі

**І. А. Чайковський, І. Є. Лапшина,
Л. С. Файнзільберг, В. А. Секретний**

Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН і МОН України, Київ, Україна

Український центр спортивної медицини, Київ, Україна

Резюме. Рассмотрены проблемы функционального состояния спортсменок в соревновательный период, а также использование ЭКГ как способа его контроля.

Ключевые слова: ЭКГ, программно-аппаратный комплекс, спортсмены.

Summary: The problems of the functional condition of female athletes during the competition period are considered. Besides the use of electrocardiogram as the method of control of the condition is considered.

Key words: electrocardiogram, software-hardware complex, athletes.

Постановка проблеми. Ефективне управління тренувальним процесом неможливе без встановлення кількісних критеріїв та залежностей, що пов'язують обсяг, інтенсивність та спрямованість впливів використовуваних засобів і методів тренування з об'єктивними фізіологічними показниками, які описують функціональний стан спортсмена. Особливо актуальний контроль функціонального стану у футболі — найпоширенішому виді спорту у світі, популярність якого продовжує зростати. Він є одним із найскладніших видів спортивної діяльності. З точки зору фізіології — це переважно динамічна робота змінної інтенсивності. Основну частину навантаження футболіста становить робота швидко-силового характеру дуже великої потужності, що вимагає прояву високого рівня загальної, швидкісної і спеціальної витривалості. При цьому інтенсивність фізичного навантаження під час гри коливається від помірної до максимальної, відбувається постійне чергування активних дій із періодами відносно пасивності.

Сучасний футбол висуває гравцям підвищені вимоги до різних компонентів функціональної підготовленості: аеробної й анаеробної потужності, сили м'язів, гнучкості, здатності до зміни спрямованості рухів тощо. Аналіз наукової літератури свідчить про те, що показники функціонального стану кращих команд продовжують зростати, тоді як показники команд менш високого рангу залишилися на тому самому рівні, що і 30 років тому [1]. Однією з причин цього є те, що у про-

відних командах ширше використовують сучасні технології, які дозволяють тренерам та футболістам своєчасно отримувати об'єктивну інформацію про функціональний стан спортсмена на основі схем тестування за різними компонентами функціональної підготовленості для уточнення програм побудови тренувань, короткочасного та довготривалого їх планування, відбору гравців на матч і визначення оптимального часу тривалості перебування кожного з них на полі тощо.

Тести для діагностики функціонального стану поділяють на лабораторні та польові. До лабораторних відносять тредміл-тест із метою визначення максимальної аеробної потужності ("золотий стандарт" у діагностиці функціонального стану), визначення рівня лактату в крові і багато інших. До польових, найбільш популярних у футболі, належать 20-метровий човниковий біг і тести, розроблені Йенгсом Бенгсбо (йо-йо-тести). Прийнято, що лабораторні тести із дослідження рівня фізичної і функціональної підготовленості футболістів повинні проводитися два-три рази на рік, а польові — від чотирьох до шести разів на рік [1].

Проте потреба в контролі та корекції функціонального стану футболістів високої кваліфікації виникає щодня. У зв'язку з цим потрібна така група польових тестів, яка їй відповідала б. Розвиток технічних засобів, передусім створення різноманітних моніторів для визначення частоти серцевих скорочень (ЧСС), дозволив широко впровадити об'єктивні методики щоденного ме-

дичного контролю. Добре відомі монітори фірм Polar, Timex, Hosand, Activio, OmegaC. Деякі з цих приладів дають можливість здійснювати моніторинг ЧСС у реальному часі під час тренування, інші крім ЧСС аналізують ще ряд параметрів варіабельності ритму серця.

У багатьох наукових роботах ЧСС під час тренувальних навантажень пов'язують із механізмом метаболічних процесів утворення енергії [12, 17, 18]. На підставі досягнутого під час тренування відсотка максимальної ЧСС виділяють зони відновного, аеробного, аеробно-анаеробного, анаеробно-аеробного навантаження.

Існує значна кількість робіт, присвячених обмеженню такого підходу, в яких йдеться про те, що зв'язок між максимальним споживанням кисню і рівнем лактату в крові з одного боку, і ЧСС — з іншого, у багатьох випадках відсутній [19]. Причин цьому багато. Передусім методика розрахунку максимальної ЧСС не враховує індивідуальних особливостей випробовуваного (навіть якщо використовувати не найпростішу формулу — $220 - \text{вік}$, а формулу Карвонена, що враховує ЧСС у спокої) [11]. Інтраіндивідуальна відтворюваність ЧСС досить низька навіть у стандартних умовах. Окрім рівня тренуваності ЧСС залежить від багатьох чинників, таких як психоемоційне напруження, рівень дегідратації, вологість і температура повітря, висота над рівнем моря (навіть після акліматизації), дієта, вживання алкоголю, паління, приймання багатьох фармакологічних препаратів. Є багато спостережень, які свідчать про те, що зміни ЧСС [16] не завжди відображають адекватну інформацію про функціональний стан спортсмена. У сучасних рекомендаціях до медичного контролю тренувального процесу, розміщених у мережі Інтернет, ця тенденція нерідко виражається в образній формі: "Не бути в полоні частоти серцевих скорочень".

Ці факти легко пояснити, якщо врахувати, що регуляція ЧСС здійснюється за рахунок складної взаємодії симпатичної і парасимпатичної частин вегетативної нервової системи, на яку впливає безліч різноманітних чинників, пов'язаних зі станом серцево-судинної системи й екстракардіальних. Виникає необхідність доповнити вимірювання ЧСС іншим дослідженням серцево-судинної системи, яке можна було б також легко здійснити в польових умовах. Доцільно було б розробити інтегральний показник функціонального стану футболістів [3].

Найбільш адекватним методом вирішення цього завдання є аналіз форми електрокардіографічного сигналу (а не тільки інтервалів R-R, як у моніторах ЧСС). Останнім часом з'явилися електрокардіографічні прилади нового типу, що до-

зволяють реєструвати електрокардіосигнал в одному відведенні не з грудної клітки пацієнта, а з пальців рук. Такий прилад не вимагає постійного підведення до тіла випробовуваного, під час дослідження не обов'язкове роздягання. Спортсмен у будь-який час і в будь-якому місці може самостійно провести реєстрацію електрокардіограми. Для цього необхідно лише доторкнутися пальцями рук до вмонтованих у мініатюрний пристрій електродів. У Міжнародному науково-навчальному центрі інформаційних технологій і систем НАНУ і МОНУ розроблено портативний програмно-апаратний комплекс ФАЗАГРАФ®, що працює за згаданим принципом. Пристрій забезпечує високу якість електрокардіографічного сигналу, крім того, дає можливість проводити аналіз тонких змін ЕКГ, непомітних при звичайній візуальній і/або автоматичній інтерпретації електрокардіосигналу. Можливість тонкої оцінки форми ЕКГ, особливо симетрії зубця Т, забезпечується перетворенням електрокардіосигналу з часової ділянки у фазовий простір [4, 5]. Суть такого перетворення полягає в тому, що в кожній точці вихідного електрокардіосигналу в часовій ділянці чисельними методами оцінюється перша похідна dy/dt і вся наступна обробка сигналу здійснюється на фазовій площині в координатах $-y(t) - dy/dt$.

У клінічній кардіології, медицині праці, в домашніх умовах як індивідуальний засіб самоконтролю використовують програмно-апаратний комплекс ФАЗАГРАФ®.

Мета дослідження — простежити можливості аналізу ЕКГ як засобу контролю функціонального стану футболістів у період змагання.

Методи й організація дослідження. У дослідженні брали участь 24 спортсменки — гравці національної жіночої збірної команди України з футболу (середній вік 28 ± 7 років). Усі регулярно виступають на чемпіонатах України, Росії, ряду європейських країн і мають спортивну кваліфікацію не нижче кандидата в майстри спорту. Обстеження проводили у ході навчально-тренувальних зборів (НТЗ) під час кваліфікаційного раунду відбору на фінальну частину чемпіонату світу. Реєстрацію ЕКГ здійснювали в перший день НТЗ через 2 год після заїзду команди на базу, потім щодня двічі: вранці в умовах основного обміну і в другій половині дня через 1 год після закінчення 2-годинного тренування ігрового типу, а також після закінчення офіційної гри кваліфікаційного раунду. Для порівняння було також обстежено в умовах основного обміну 32 слухачки військово-медичної академії Міністерства оборони України (середній вік 23 ± 3 роки). Обстеження проводили за допомогою приладу ФАЗАГРАФ® (рис. 1),



Рисунок 1 — Мікропроцесорний сенсор приладу ФАЗАГРАФ®

зробленого у вигляді приставки до звичайного персонального комп'ютера. Він складається з мікропроцесорного сенсора, який забезпечує реєстрацію ЕКГ першого стандартного відведення і введення оцифрованого сигналу в персональний комп'ютер через стандартний інтерфейс USB.

Для реєстрації ЕКГ обстежувана торкалася пальцями правої і лівої рук до мініатюрних електродів, розташованих на передній панелі мікропроцесорного сенсора. Реєстрацію ЕКГ проводили в положенні сидячи, тривалість її — 2 хв. Обробку сигналу здійснювали за допомогою комп'ютерної програми, що реалізує всі стадії обробки сигналу, у тому числі аналіз оригінальної діагностичної ознаки ЕКГ у фазовому просторі. Ця ознака, яку ми назвали β_t , характеризує симетрію фрагмента фазової траєкторії, що відповідає періоду реполяризації (рис. 2)

При позитивному зубці цей показник обчислюється як відношення максимальної швидкості на висхідному коліні зубця (D_1) до максимальної швидкості на його низхідному коліні (D_2) (див. рис. 2), тобто

$$\beta_t = D_2 / D_1$$

У результаті обстеження репрезентативної групи здорових добровольців і хворих із різними захворюваннями серця було встановлено порогові значення показника β_t . Інтерфейс комплексу виконано у формі шкали, поділеної на "зелену" зону (нормальне значення), "жовту" (проміжні значення) і "червону" (значення, які свідчать про патологію). Окрім показника β_t оцінювали також ЧСС.

Результати дослідження та їх обговорення. У всіх футболісток і слухачок військово-медичної академії зареєстровано додатну для аналізу електрокардіограму без ознак патології.

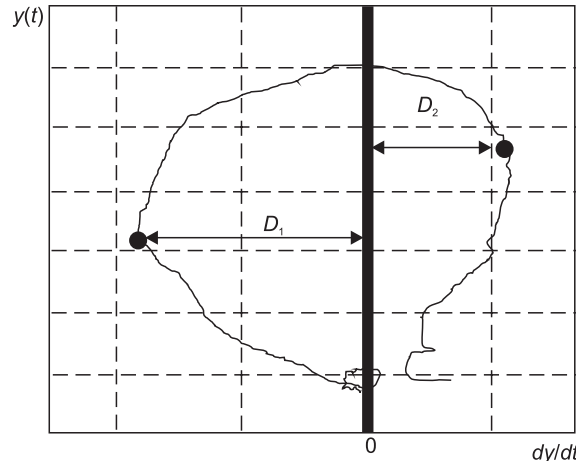


Рисунок 2 — Фрагмент середньої фазової траєкторії ЕКГ

Зубець Т в усіх випадках був позитивним. Показник β_t у групі футболісток в умовах основного обміну був достовірно нижчий, ніж у слухачок військово-медичної академії, відповідно $0,57 \pm 0,1$ і $0,698 \pm 0,084$, $p < 0,02$. Значення ЧСС достовірно не розрізнялися — 67 ± 9 і 69 ± 7 уд. · хв⁻¹.

Середні значення β_t і ЧСС після заїзду на базу, вранці в умовах основного обміну, через 30 хв після тренування ігрового типу і після офіційної гри подано в таблицях 1 і 2.

Як видно з таблиці 1, після фізичного навантаження сталося статистично достовірне збільшення показника β_t , як після тренування, так ще більше виражено після офіційної гри. Показник β_t розрізнявся лише на рівні тенденції. ЧСС достовірно збільшувалася, як у перший день НТЗ після заїзду на базу, так і через 1 год після тренування й офіційної гри, причому різниця після тренування і після офіційної гри була достовірною. Після гри ЧСС зросла більш виразно.

ТАБЛИЦЯ 1 — Значення β_t в контрольних точках ($M \pm m$, $n = 24$)

| Після заїзду на базу | Вранці в умовах основного обміну | Після тренування ігрового типу | Після офіційної гри |
|----------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| $0,6 \pm 0,11$ | $0,57 \pm 0,09$ | $0,66 \pm 0,07^*$ | $0,69 \pm 0,1^*$ |

Примітка: * — різниця достовірна ($p < 0,05$) порівняно зі значенням показника в умовах основного обміну.

ТАБЛИЦЯ 2 — Значення ЧСС (уд. · хв⁻¹) у контрольних точках ($M \pm m$, $n = 24$)

| Після заїзду на базу | Вранці в умовах основного обміну | Після тренування ігрового типу | Після офіційної гри |
|----------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| $75 \pm 6^*$ | 67 ± 9 | $75 \pm 9^*$ | $84 \pm 11^*$ |

Примітка: * — різниця достовірна ($p < 0,05$) порівняно зі значенням показника в умовах основного обміну.

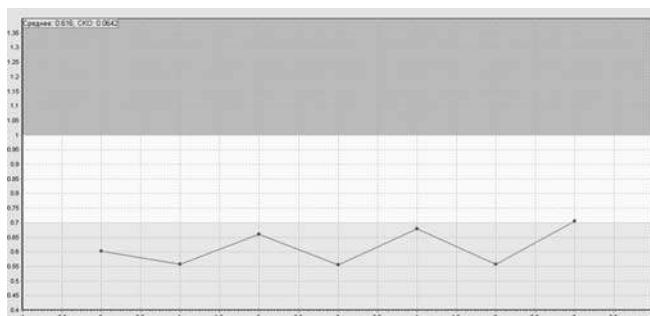


Рисунок 3 — Динаміка показника β т гравця національної жіночої збірної команди з футболу К., 32 роки

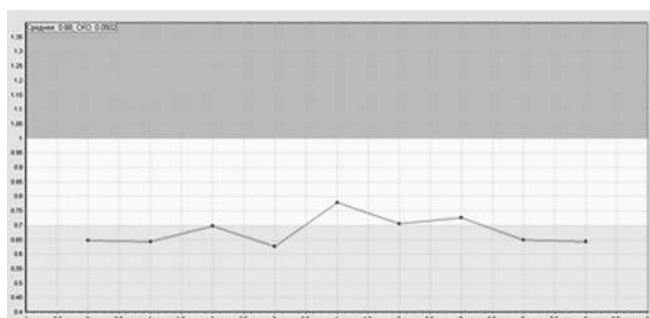


Рисунок 4 — Динаміка показника β т гравця національної жіночої збірної команди з футболу Ф., 34 роки

Було розраховано також коефіцієнт кореляції Пірсона між динамікою ЧСС та β т. Він становив 0,3, тобто виявлено лише слабкий ступінь кореляції між змінами ЧСС і симетрії зубця Т.

Було проведено індивідуальний аналіз результатів. Виявлено, що у частини спортсменок фізичне навантаження викликає не збільшення, а значне зниження симетрії зубця Т. Виявлено також, що травми, респіраторно-вірусна інфекція, порушення спортивного режиму впливають на динаміку показника β т, тренд показника β т викликає зміну методики тренувального процесу і відновлення після навантаження. Нами не виявлено залежності динаміки β т і ЧСС від ігрового амплуа футболісток.

На рисунках 3—5 наведено приклади динаміки показника β т у кількох футболісток, що відображають найбільш типові ситуації.

На рисунку 3 подано динаміку показника β т протягом одного НТЗ. Перший вимір було зроблено у день заїзду на базу, другий — наступного ранку в умовах основного обміну, третій, — цього самого дня через 1 год після тренування аж до сьомого виміру, який було зроблено після офіційної гри.

Усі значення β т знаходяться в зоні норми (“зелена зона”), крива динаміки має характерну синусоїдальну форму, найбільше значення на межі “зеленої” і “жовтої” зон зареєстровано після офіційної гри.

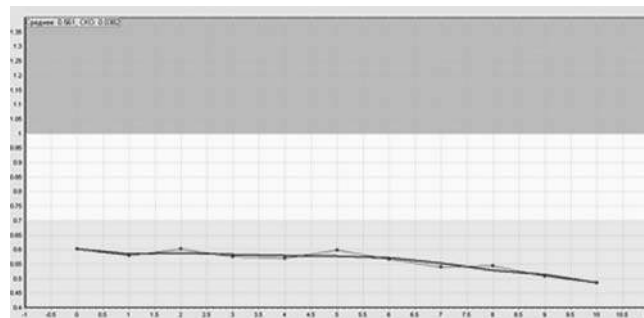


Рисунок 5 — Динаміка показника β т гравця національної жіночої збірної команди з футболу Р., 19 років

На рисунку 4 також подано динаміку показника β т протягом одного НТЗ. Видно, що значення β т, котрі відповідають 5—7-му виміру знаходяться в “жовтій” зоні (як після фізичного навантаження, так і у спокої). Поглиблений аналіз показав, що в час, який відповідав цим вимірам, спортсменка страждала від болю в поперековому відділі хребта, пов’язаному із загостренням застарілого ушкодження, котре виникло після неефективного лікування травми.

На рисунку 5 подано узагальнену динаміку показника β т протягом трьох НТЗ — з квітня по липень. У цей період спортсменка перейшла в один із провідних клубів, що має сучасну тренувальну базу і використовує ефективні методики медичного забезпечення та відновлення. Видно, що є тренд зменшення значень β т (як у спокої, так і після фізичного навантаження), котрий підкреслюється поліномом, що апроксимує криву значень β т.

Фізіологічний сенс симетризації зубця Т, яку відображає збільшення показника β т, останнім часом інтенсивно досліджується в експериментальній кардіології. Форма зубця Т електрокардіограми залежить від форми, тривалості і величини трансмембранних потенціалів дії (ПД) у різних зонах міокарда. При збільшенні регіональної дисперсії тривалості другої фази ПД відбувається збільшення симетрії зубця Т [14]. Збільшення трансмурального градієнта величини ПД також приводить до появи більш симетричного зубця Т.

Таким чином, збільшення симетрії зубця Т свідчить про збільшення як регіональної, так і трансмуральної електричної неоднорідності міокарда.

Клінічне значення симетризації зубця Т було, наскільки нам відомо, уперше продемонстровано в роботі [12], а також у працях російських учених у 1980-ті роки [21]. Нами детально досліджено збільшення симетрії зубця Т при різних захворюваннях і клінічних ситуаціях, а також в експерименті на тваринах [7, 10]. Встановлено, що ураження міокарда різної етіології викликає збільшення його електричної неоднорідності, а

отже збільшення симетрії зубця Т. Проте, у обстежених нами гравців національної жіночої збірної ураження міокарда відсутнє. В стані спокою показник βt у всіх знаходився в “зеленій” зоні і був навіть достовірно нижчий, ніж у групі здорових волонтерів, які не займаються систематично спортом. Це говорить про те, що регулярні фізичні навантаження, як правило, чинять сприятливий вплив на електричну однорідність міокарда.

Після тренувань і, ще більш визначено, після офіційних ігор зафіксовано симетризацію зубця Т, яку не можна пояснити наявністю патології міокарда. В даному випадку збільшення симетрії найвірогідніше пов'язане зі збільшенням ЧСС. Механізм її при збільшенні ЧСС також вивчався в клінічних дослідженнях і шляхом комп'ютерного моделювання. Встановлено, що збільшення ЧСС призводить до зменшення тривалості потенціалу дії й одночасно до збільшення дисперсії реполяризації, яка реалізується на поверхневій ЕКГ, у тому числі симетризацією зубця Т [15, 20]. Проте, кількісні співвідношення між змінами ЧСС і симетрії зубця Т вивчені недостатньо. У даному дослідженні нами було виявлено лише слабкий ступінь кореляції між динамікою показника βt і ЧСС, що збігається з даними, отриманими раніше в клінічних дослідженнях.

Як відомо, при фізичному (і психоемоційному) навантаженні зростає споживання кисню, що компенсується за рахунок збільшення серцевого викиду. Величина його є головною детермінантою транспорту кисню при навантаженні [2]. Величину серцевого викиду визначають дві змінні: частота серцевих скорочень і величина ударного об'єму крові.

Нами виявлено зв'язок між змінами скоротливої функції міокарда і показником βt , тобто зміна форми Т відносно зміни ударного об'єму [8]. На нашу думку, співвідношення міри приросту ЧСС і симетрії зубця Т при навантаженні залежить від того, який механізм збільшення серцевого викиду є основним у даному випадку. Так, нами не було зареєстровано достовірних відмінностей показника βt у перший день НТЗ після заїзду на базу порівняно з вимірами в умовах основного обміну, тоді як ЧСС була достовірно підвищена. Вірогідно, в цьому випадку мало місце психоемоційне напруження і дещо збільшене споживання кисню задовольнялося лише за рахунок одного хронотропного механізму збільшення серцевого викиду, тобто підвищення ЧСС. Підключення інотропного механізму регуляції не було необхідним. Схожі результати отримано при порівнянні значень βt і ЧСС після тренування ігрового типу та офіційної гри: симетрія зубця Т зросла в обох

випадках приблизно однаково — лише на рівні тенденції, тоді як ЧСС значно збільшилася після офіційної гри, ніж після офіційного тренування. При цьому обсяг роботи, виконаної під час тренування і під час гри, був приблизно однаковий. Відмінності в прирості ЧСС між грою і тренуванням можуть бути пояснені лише психоемоційним напруженням, яке після офіційної гри виражене більше. І в цьому випадку основним був хронотропний механізм збільшення серцевого викиду.

Обстеження проводили через 1—1,5 год після закінчення гри або тренування. Кінетику відновлення ЧСС після навантаження використовували як маркер стану серцево-судинної системи в клінічній кардіології і спортивній медицині. Нами раніше досліджено характер відновлення значень показника βt після навантаження на велоергометри у хворих з ІХС і здорових волонтерів [9]. Проте, в усіх цих дослідженнях реєстрацію показників проводили через короткий проміжок часу після закінчення навантаження — 1,2 або 5 хв. Найбільш тривалий проміжок часу, за який реєстрували кінетику ЧСС у відомих нам дослідженнях — 30 хв [22]. Слід зазначити, що в цьому дослідженні встановлено, що і за 30 хв ЧСС не повернулася до початкових значень. Аналіз ЧСС, і тим більше форми ЕКГ за більш тривалий період після навантаження, яке не було монотонно зростаючим, як на велоергометри або тредмілі, а ігровим, не проводився. На нашу думку такий аналіз був би дуже корисним у практиці ігрових видів спорту, оскільки більш повно висвітлював особливості відновлення спортсмена після гри. Доцільно було б вивчити взаємозв'язок показників ЕКГ з рівнем гормонів стресу, перш за все, кортизолу й епінефрину, за відносно тривалий (декілька годин) період після закінчення навантаження. Ми припускаємо, що існує кореляція між кінетикою цих гормонів, ЧСС і симетрією зубця Т, яка, як уже говорилося, побічно відображає ударний об'єм. Таким чином, у будь-який момент часу можна було б оцінювати співвідношення двох основних механізмів регуляції серцевого викиду. На нашу думку, це співвідношення є важливим індивідуальним показником функціонального стану спортсмена, що відображає, передусім, “економічність” роботи серця. Використання приладу ФАЗАГРАФ® дозволяє провести такі дослідження. Із збільшенням рівня гормону стресу ми пов'язуємо і зареєстрований нами феномен збільшення значень βt у період загострення ураження поперекового відділу хребта з корінцевим синдромом. Це питання заслуговує додаткового вивчення.

Необхідно відмітити той факт, що у частини спортсменок після фізичного навантаження за-

фіксовано не збільшення, а значне зниження показника βt (до рівня менше 0,45). Подібний ефект фіксувався нами і раніше в клінічних і експериментальних дослідженнях, тому в рекомендаціях до використання приладу нами вказується діапазон оптимальних значень показника βt [6]. Механізм зниження симетрії зубця Т неясний і заслуговує додаткового вивчення. Використання таких приладів як ФАЗАГРАФ® особливо доцільне саме в збірних командах, куди спортсмени прибувають на короткий термін, у різному функціональному стані, а тренерський і лікарський персонал повинні оперативно отримати інформацію для правильної побудови НТЗ. Практика його використання показує, що виміри й обговорення результатів, як правило, чинять мотивуючу дію на спортсменок та можуть бути використані в тренувально-педагогічному процесі. Застосування приладу ФАЗАГРАФ® було одним із компонентів медичного забезпечення, який сприяв успішному виступу команди у кваліфікаційному раунді.

Дана робота має ряд обмежень. Передусім, не проводилося порівняння аналізованих нами показників з основними параметрами лабораторного тестування — максимальною аеробною потужністю, рівнем лактату в крові. Раніше нами проведено відносно невелике дослідження, в якому встановлено кореляційний взаємозв'язок між дихальним коефіцієнтом і показником βt [23]. Така робота має бути продовжена. Це дасть можливість розробити багатосторонній інтегральний показник функціонального стану для використання в футболі.

Висновок. Використання програмно-апаратного комплексу ФАЗАГРАФ® дозволяє значно покращити оперативний контроль функціонального стану футболісток в умовах навчально-тренувального збору.

1. Драницин О. Современные методы диагностики функционального состояния футболистов // О. Драницин, С. Дрюков, В. Попов. Рижим доступа <http://smk-flu.at.ua/index/0-20>.

2. Карпман В. Л. Сердечно-сосудистая система и транспорт кислорода при мышечной работе : актовая речь / Карпман В. Л. // Клинико-физиологические характеристики сердечно-сосудистой системы у спортсменов / РГАФК. — М., 1994. — С. 12—39.

3. Семаева Г. Интегральная оценка функционального состояния футболистов высокой квалификации: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. биол. наук / Г. Семаева. — М., 2004.

4. Файнзильберг Л. С. Диагностика состояния объектов по фазовым траекториям наблюдаемых сигналов с локально сосредоточенными признаками / Л. С. Файнзильберг // Проблемы управления и информатики. — 2004. — № 2. — С. 56—67.

5. Файнзильберг Л. С. Компьютерный анализ и интерпретация электрокардиограмм в фазовом пространстве

/ Л. С. Файнзильберг // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2004. — № 1. — С. 32—46.

6. Халфен Э. Ш. Клиническое значение исследования скоростных показателей зубца Т ЭКГ / Э. Ш. Халфен, Л. С. Сулковская // Кардиология. — 1986. — № 6. — С. 60—62.

7. Чайковский И. А. Медицинские аспекты применения устройства ФАЗАГРАФ в клинической практике и в домашних условиях / И. А. Чайковский, Л. С. Файнзильберг. — К.: МНУЦ ИТИС, 2009. — 74 с.

8. Чайковский И. Связь показателей внутрисердечной геодинамики и параметров электрокардиограммы в фазовом пространстве у больных с острым инфарктом миокарда в ходе пробы с нитроглицерином / И. Чайковский, В. Батушкин, Л. Файнзильберг, А. Гема // Український кардіологічний журнал. — 2010. — № 2. — С. 19—24.

9. Чайковский И. Возможности анализа ЕКГ в фазовом пространстве в ходе нагрузочного теста / [И. Чайковский, А. Ломаковский, С. Деяк и др.] // Український кардіологічний журнал. — 2009. — № 4. — С. 65—70.

10. Чайковский И. А. Дослідження функції серця при ішемії міокарда за допомогою нового методу обробки електрокардіограми / [Чайковский И. А., Нещерет О. П., Файнзильберг Л. С. та ін.] // Фізіологічний журнал. — 2008. — № 6. — С. 42—48.

11. Achten J. Heart rate monitoring: applications and limitations / J. Achten, A. E. Jeukendrup // Sports Med. 2003; 33(7): 517—387.

12. Boulay M. R. Monitoring high-intensity endurance exercise with heart rate and thresholds / M. R. Boulay, J. A. Simoneau, G. Lortie, C. Bouchard // Med Sci Sports Exerc, 1997, Jan; 29(1):125—32.

13. Chaikovskiy I. Correlation between respiratory coefficient and parameters of ECG in phase space during exercises in high-class athletes / I. Chaikovskiy, L. Fainzilberg // Український кардіологічний журнал. — 2010. — № 4. — С. 121.

14. Di Bernardo D. Computer model for study of cardiac repolarization / D. Di Bernardo, A. Murray // J. Cardiovasc. Electrophysiol. — 2000. — Vol. 11. — P. 895—899.

15. di Bernardo D. Effect of changes in heart rate and in action potential duration on the electrocardiogram T wave shape D. / di Bernardo, P. Langley, A. Murray // Physiol. Meas. — 2002. — Vol. 23. — P. 355—356.

16. Does Overtraining Exist?: An Analysis of Overreaching and Overtraining Research Halson // Sports Med, 2004; 34(14):967-981.

17. Karvonen, J. Vuorimaa. Heart rate and exercise intensity during sports activities. Practical application / J. Vuorimaa Karvonen // Sports Medicine —1988.— Vol. 5. — P. 303—312.

18. Vachon J. A validity of the heart rate deflection point as a predictor of lactate threshold during running / J. A. Vachon, Jr. Bassett DR and S. Clarke // J. Appl Physiol, 1999, 87: 452—459.

19. Parker D. Heart rate threshold is not a valid estimation of the lactate threshold [D. Parker, Robergs R. A., Quintana R.] // Med. Sci. Sports Exerc. 1997, 29: P. 235.

20. Smetana P. Ventricular gradient and nonpolar repolarization components increase at higher heart rate / [P. Smetana, V. Batchvarov, K. Hnatkova, A. Camm, M. Malik] // Am J. Physiol Heart Circ Physiol. — 2003. — Vol. 286. — P. 31—36

21. Zuckermann R. Grundriss und Atlas der Elektrokardiographie / R. Zuckermann. Leipzig, 1957.

22. Javorka M. Heart rate recovery after exercise: relations to heart rate variability and complexity / M. Javorka, I. Zila, T. Balhórek, K. Javorka // Braz J Med Biol Res, August 2002, Vol. 35(8), 991—1000.

Надійшла 21.03.2011