

УДК 519. 876.2: 611.018.4

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ СТАНУ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ЧАСОВОГО АНАЛІЗУ ОСЦИЛОГРАМ

Д. В. Вакуленко¹, Л. О. Вакуленко²

*ДВНЗ “Тернопільський державний медичний університет імені І. Я. Горбачевського
МОЗ України”¹*

Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка²

Інформаційна технологія часового аналізу осцилограм дозволяє значно розширити інформаційні можливості процедури вимірювання артеріального тиску за допомогою електронного вимірювача артеріального тиску.

Ключові слова: осцилограма, вплив компресії на стан периферійних судин, часовий аналіз осцилограм, його динаміка під впливом фізичного навантаження.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА ОСЦИЛЛОГРАММ

Д. В. Вакуленко¹, Л. А. Вакуленко²

*ГВУЗ «Тернопольский государственный медицинский университет
имени И. Я. Горбачевского МОЗ Украины»¹*

Тернопольский национальный педагогический университет имени В. Гнатюка²

Информационная технология временного анализа осциллограмм дает возможность значительно расширить информационные возможности процедуры измерения артериального давления при помощи электронного измерителя артериального давления.

Ключевые слова: осциллограмма, влияние компрессии на состояние периферических сосудов, временной анализ осциллограмм, его динамика под влиянием физической нагрузки.

INFORMATION TECHNOLOGY ASSESSMENT OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM USING THE METHODS OF TEMPORAL ANALYSIS OF OSCILLOGRAMS

D. V. Vakulenko¹, L. A. Vakulenko²

*SHEI “Ternopil State Medical University by I. Ya. Horbachevsky of MPH of Ukraine”¹
Ternopil National Pedagogical University by V. Hnatyuk²*

The information technology of the time analysis arterial oscillogram allows to significantly expand the information capabilities of the measurement procedure arterial pressure using E-blood pressure.

Key words: oscillogram, the effect of compression on the state of the peripheral vessels, temporal analysis of disturbances, his dynamics influenced by physical activity.

Вступ. Концепція здоров'я, що розвивається в даний час в валеології, розглядає перехід від здоров'я до хвороби як процес зниження адаптаційних можливостей організму [1, 2].

Система кровообігу – чутливий індикатор адаптаційних реакцій цілісного організму. Існують доступні

методи оцінки стану регуляторних механізмів системи кровообігу, одним із яких є математичний аналіз ритму серця. На благополуччя кровообігу значний вплив має стан судин (“периферійного серця” за М. В. Яновським) [3]. Вивчення і оцінка стану периферійних судин – актуальна проблема. Застосуван-

ня для вимірювання артеріального тиску сучасного електронного обладнання дає можливість отримати (окрім рівня артеріального тиску та частоти серцевих скорочень) набагато більше інформації про стан серцево-судинної системи. При цьому створюється можливість застосування сучасних комплексів моніторингу електрокардіограм для проведення аналізу осцилограм.

Мета досліджень. Ми поставили за мету удосконалити методи оцінки артеріальної осцилограми шляхом розробки інформаційної технології визначення тривалостей інтервалів між вершинами осциляцій в процесі зростання компресії передпліччя манжетою в стані спокою та після фізичного навантаження.

Матеріал та методи дослідження. Для вирішення поставленої мети нами за допомогою електронного вимірювача тиску в пакеті Матлаб 2010а з кривої тиску виділено артеріальну осцилограму 110 практично здорових осіб віком 18–22 роки, студентів факультету фізичного виховання [4].

Дослідження проводили в стані спокою, після фізичного навантаження (проба Руф'є – 30 присідань за 45 с) та через 2 хвилини після нього.

З цією метою проведено аналіз осцилограми з двох сторін від осі X та аналіз відношення тривалості висхідної частини осциляції (анакроти) до тривалості усієї хвилі. Оцінено характер порушення ритму серцевої діяльності (тривалість, частота і місце його появи), зміни тривалостей осциляцій окремо між її максимальними та мінімальними екстремумами. Крім

цього, проведено аналіз та оцінка варіабельності тривалостей осциляцій за методами і показниками часового аналізу та варіаційної пульсометрії, прийнятих для оцінки електрокардіосигналів [3, 4]. З цією метою використані наступні показники: **SDSD** – стандартне відхилення різниць між сусідніми нормальними екстремумами (мс); **NN50** – кількість послідовних інтервалів (окремо максимумів та мінімумів), різниця між якими перевищує 50 мс; **Mo** (мода) – діапазон значень тривалості осциляцій, які зустрічаються найчастіше (с); **AMo** (амплітуда моди) – число інтервалів, які відповідають значенню моди (%); **BP** (варіаційний розмах) – різниця максимальних і мінімальних значень тривалості інтервалів між сусідніми осциляціями (с); **IBP** (індекс вегетативного рівноваги), $IBP = AMo / BP$ (у.о.); **ВІР** (вегетативний показник ритму), $ВІР = 1 / Mo \times BP$ (у.о.); **ІН** (індекс напруги регуляторних систем), $ІН = AMo / (2 * BP * Mo)$ (у.о.); **HRV**-індекс – Триангулярний індекс (у.о.); **RMSSD** – квадратний корінь середніх квадратів різниці між суміжними екстремумами (мс); **RR std** – стандартне відхилення між екстремумами (мс). Вивчена кореляційна ритмографія або скатерографія – графічне відображення розподілу суміжних осциляцій в двомірній координатній площині осцилограми (попереднього і наступного) в двомірній координатній площині та хаосограма, яка призначена для аналізу нелінійних «хаотичних» коливань тривалості осциляцій.

Для зручності аналізу осцилограму умовно поділено на 3 основні частини (рис. 1):

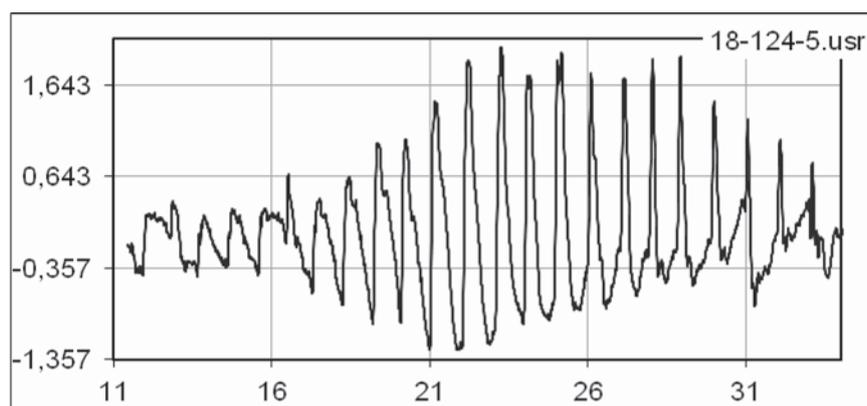


Рис.1. Артеріальна осцилограма юнака К.

1-а – початок компресії (до досягнення у манжеті рівня діастолічного тиску, в розглянутому прикладі – до 18 с), **2-а** – наростання компресії (18–31 с) та **3-я** – максимальної компресії (тиск у манжеті більший від рівня систолічного тиску, 32–33 с). [7]. Перша та ос-

танна частина оцінені як реакція судин на різні рівні компресії. У другій частині, під час наростання стиснення, за тривалістю інтервалів між екстремумами оцінено стан регуляторних механізмів системи кровообігу.

Результати досліджень та їх оцінка. Для прикладу використана осцилограма юнака К., 18 років, здоровий. Пацієнту проведено вимірювання артеріального тиску у стані спокою та після 30 присідань за 45 секунд (проба Руф'є). Після навантаження артеріальний тиск реєстрували двічі: зразу після присідань та через 2 хвилини.

В пакеті Матлаб 2010а з кривої тиску було виділено артеріальну осцилограму (рис. 2) та визначено тривалість інтервалів (рис. 3) окремо між її максимальними (а, в) та мінімальними екстремумами (б, г).

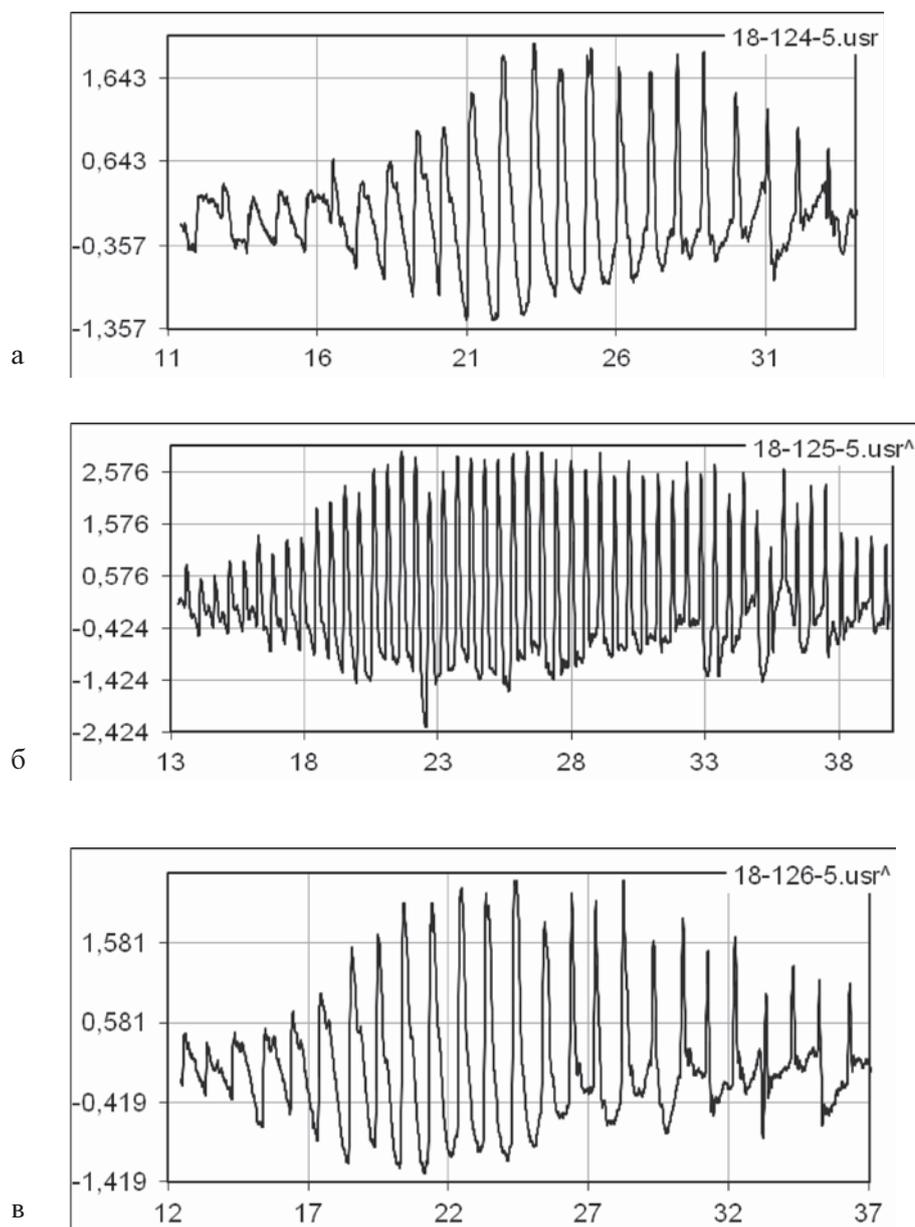


Рис. 2. Артеріальні осцилограми при проведенні проби Руф'є: а) до навантаження; б) зразу після 30 присідань; в) через 2 хвилини після присідань.

Інтервали між екстремумами. Аналіз інтервалів між максимальними екстремумами до навантаження (рис. 3, а) засвідчив їх різну тривалість.

Як видно з рисунка, до навантаження (рис. 3, а) на початку компресії, (частина (ч.) 1) відмічено значну

різницю тривалості інтервалів між сусідніми осциляціями максимумів. У процесі наростання компресії (ч. 2) різниця мала місце, але була менш виражена. Після досягнення максимальної компресії (ч. 3) зареєстровано значне збільшення (у протилежних на-

прямах) тривалості інтервалів між сусідніми осциляціями.

Зразу після фізичного навантаження (рис. 3, в) на початку компресії значне збільшення тривалості інтервалів (порівняно з вихідною) не реєструвалось. У другій фазі відмічено стабілізацію тривалості інтервалів. При максимальній компресії спостерігається протилежна (щодо вихідного стану) динаміка – тривалість нестабільно зменшилась.

При аналізі інтервалів між мінімумами осциляцій до та після навантаження (рис. 3, б, г), зареєстрова-

но схожу тенденцію, лише при максимальній компресії зразу після присідань розкид тривалості інтервалів виявився більшим, переважно за рахунок їх зростання порівняно з другою фазою.

Через 2 хвилини після навантаження тривалість між інтервалами в першій та останній частинах осцилограм мала тенденцію наближення до вихідного рівня, більш виражена на максимумах осциляцій. В другій частині – зменшувалась стабільність тривалості осциляцій.

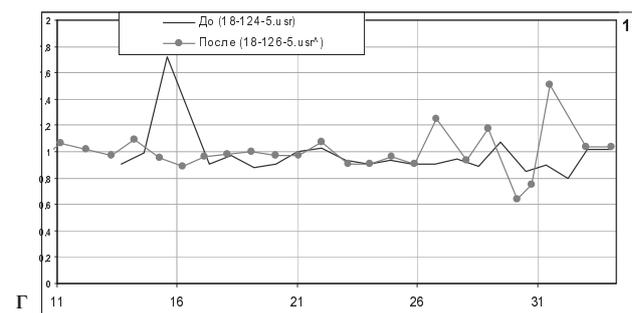
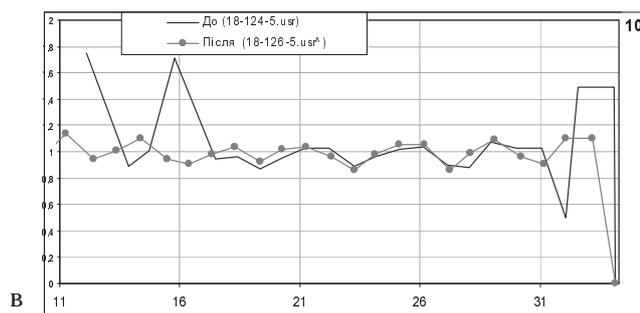
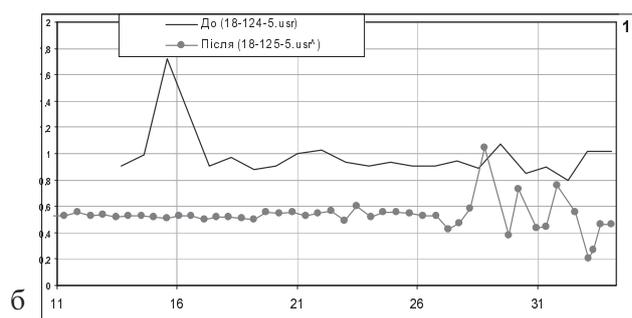
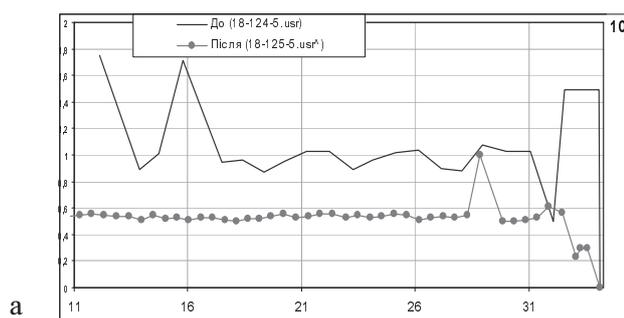


Рис. 3. Інтервали між максимальними та мінімальними екстремумами при проведенні проби Руф'є: а) до та після 30 присідань між максимумами; б) до та після 30 присідань між мінімумами; в) до та через 2 хвилини після присідань між максимумами; г) до та через 2 хвилини після присідань між мінімумами.

Таким чином, за результатами аналізу тривалості інтервалів окремо між максимальними та мінімальними екстремумами осцилограм виявлено неоднорідну реакцію гладкої мускулатури судин на компресію, що свідчить про різні рівні “чутливості рецепторних приборів баро- і хеморецепторів, які контролюють різні параметри кровообігу, та гнучкості пристосувальної здатності серця і судин до змінюваних умов зовнішнього середовища” [7].

Стабілізація тривалості інтервалів у другій частині осцилограми зразу після навантаження указує на підвищення ступеня централізації управління системою кровообігу, а наближення їх до вихідних показ-

ників уже на 2 хвилини після присідань – про високу адаптаційну здатність серцево-судинної системи, тобто про високий показник рівня функціонування міо-кардіально-гемодинамічного гомеостазу обстежуваного [5, 6].

Гістограма – графічне зображення частоти повторюваності часових інтервалів. Визначення тривалості інтервалів між осциляціями дає можливість будувати гістограму, а за її результатами – оцінити стан симпатичної та парасимпатичної ланок автономної нервової системи, однією із функцій якої є забезпечення регуляції тону судин [7].

Гістограми обстеженого зображені на рисунку 4.

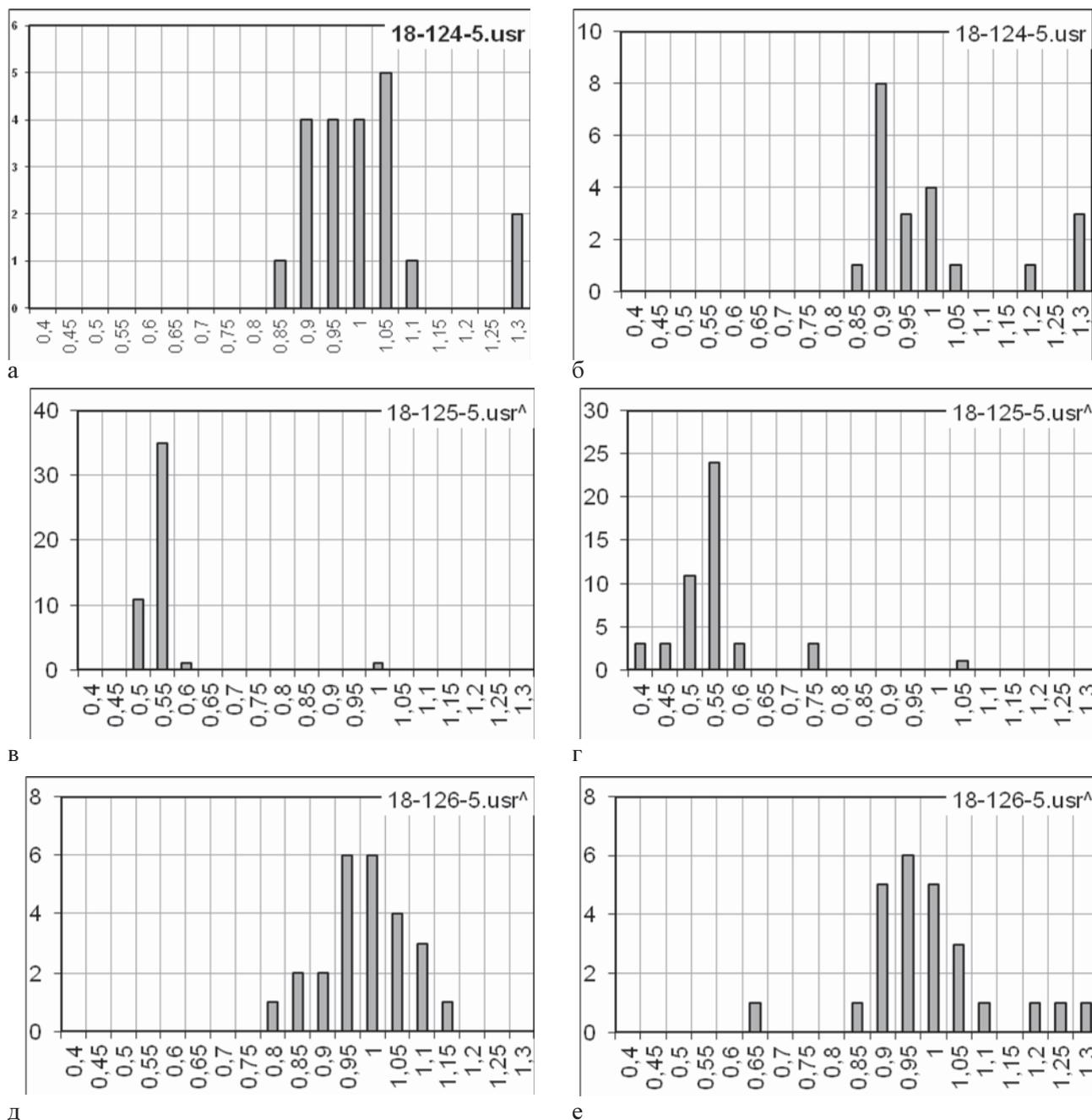


Рис. 4. Гістограми між максимальними та мінімальними екстремумами при проведенні проби Руф'є: а) до навантаження між максимумами; б) до навантаження між мінімумами; в) зразу після 30 присідань між максимумами; г) зразу після 30 присідань між мінімумами; д) через 2 хвилини після присідань між максимумами; е) через 2 хвилини після присідань між мінімумами.

При аналізі гістограм слід звернути увагу на форму цих графіків, де до навантаження значення інтервалів для максимумів коливались від 0,85 до 1,1 мс (рис 4, а), для мінімумів – 0,85–1,05 мс (рис. 4, б), що свідчить про незначне підвищення функціонального стану парасимпатичної ланки автономної нервової системи [5, 6]. Зразу після присідань зареєстровано зміщення показників

гістограми вліво, до 0,5–0,55 мс для максимумів (рис. 4, в), та 0,4–0,6 мс для мінімумів (рис. 4, г), звуження основи гістограми з одночасним ростом її висоти, що указує на збільшення активності симпатичної ланки автономної нервової системи, підвищення ступеня централізації керування гемодинамікою, зростання рівня мобілізації системи кровообігу та її функціонування [5, 6].

Через 2 хвилини після присідань показники гістограми практично повернулись до вихідного рівня (0,8–1,15 мс для максимумів, (рис. 3, д), та 0,85–1,1 мс для мінімумів (рис. 3, е)). При цьому реєструвалось розширення основи гістограми, високий ступінь варіативності її показників, що свідчить про зниження рівня централізації керування системою кровообігу, зростання тонуусу парасимпатичної ланки автоном-

ної нервової системи та високу адаптаційну здатність організму обстеженого [5, 6].

Таким чином, аналіз гістограм дав можливість оцінити ступінь централізації управління гемодинамікою та функціональний стан автономної нервової системи, – найбільш точного маркера реактивності та резистентності організму [5].

Скатерограми (рис. 5) та хаосограми (рис. 6).

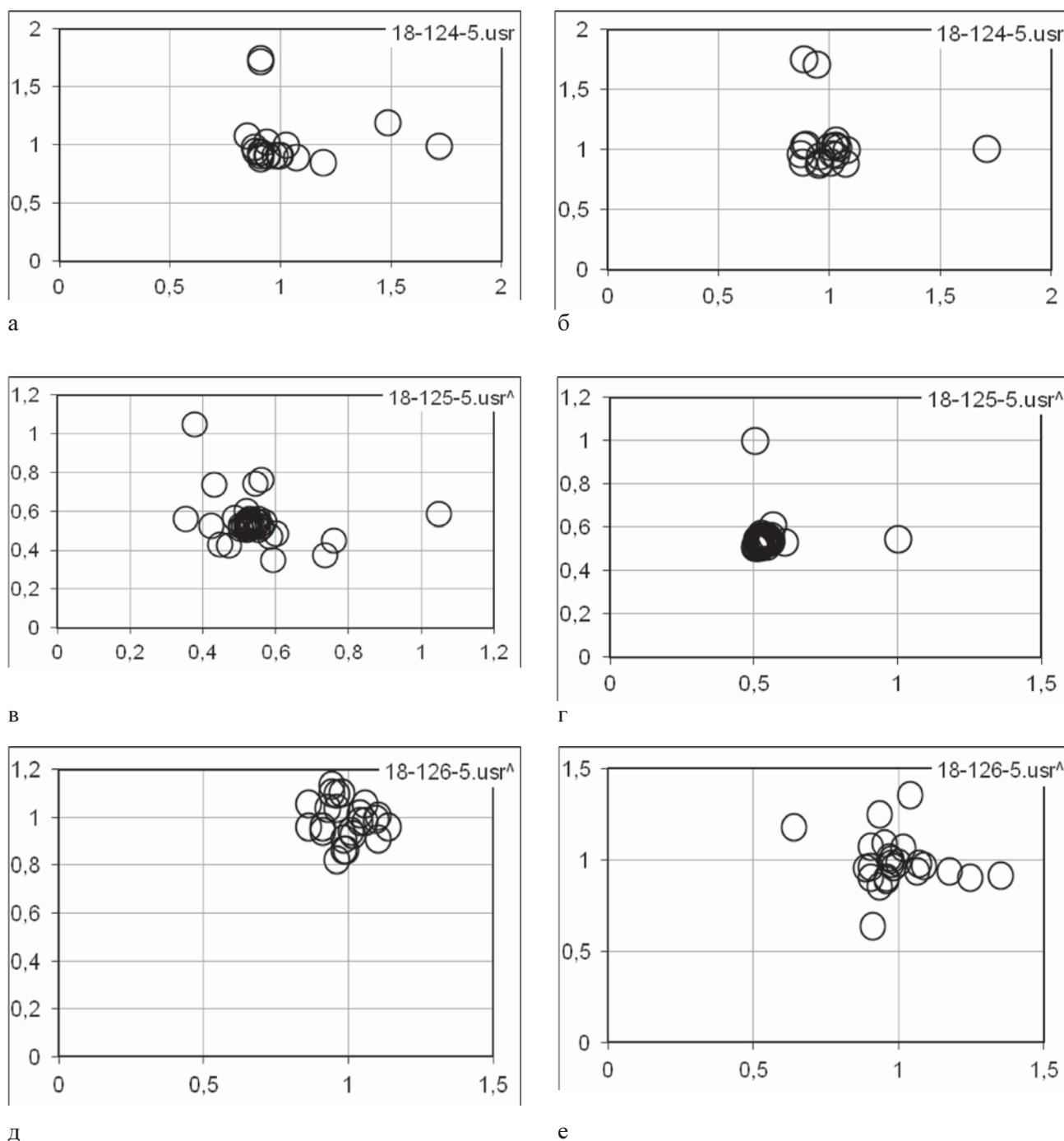


Рис. 5. Скатерограми між максимальними та мінімальними екстремумами при проведенні проби Руф'є: пояснення ті ж, що і на рисунку 3.

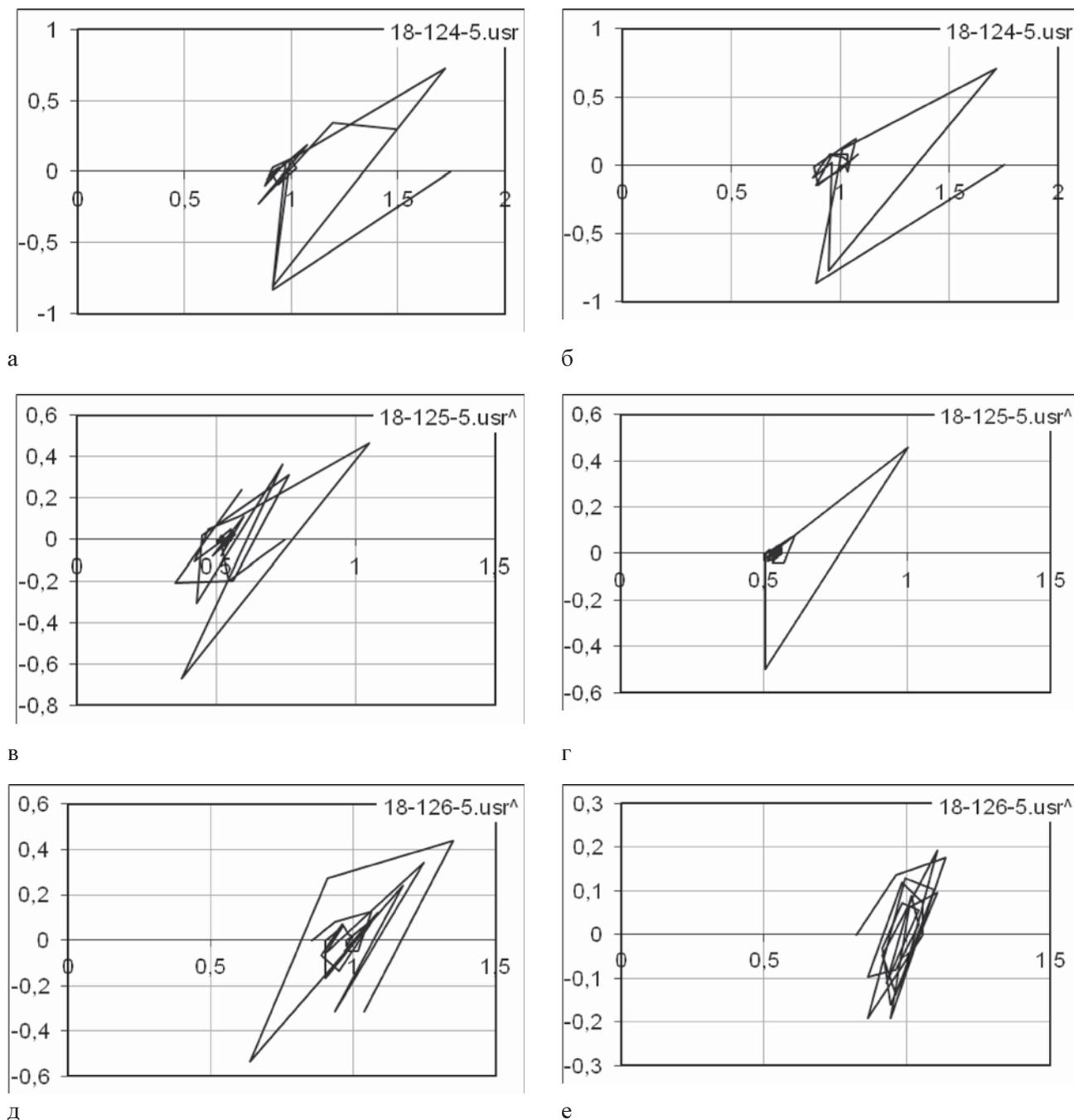


Рис. 6. Хаосограма між максимальними та мінімальними екстремумами при проведенні проби Руф'є: пояснення ті ж, що і на рисунку 3.

Їх аналіз засвідчує зміщення “хмаринки” та хаосограми вліво після фізичного навантаження (рис. 5, в, г, 6, в, г) як за екстремумами, так і за мінімумами осциляцій. Це свідчить про підвищення тонузу симпатичної ланки автономної нервової системи [5]. Через 2 хвилини після проби (рис. 5, д, е, 6, д, е) “хмаринка” та хаосограми не лише наблизились до вихідного рівня, але стали більш сконцентрованими, що указує на підвищення тонузу її парасимпатичної ланки [5].

Для підтвердження отриманих даних у обстежуваного визначено індекс Кердо. До навантаження він був 4,3, зразу після присідань $+26,8$ та $+1,6$ – через 2 хвилини після проби, що указує на деяке підвищення тонузу парасимпатичної ланки автономної нервової системи у спокої, збільшення тонузу її симпатичної ланки після навантаження та наближення до вихідних – через 2 хвилини і підтверджує отримані вище результати [5, 6].

Показники часового аналізу та варіаційної пульсометрії осцилограм. У обстеженого в стані спокою досліджувані показники знаходились в межах середніх для обстежених нами 110 практично здорових осіб, які оцінено як норму (надалі вони подані в дужках).

Зразу після навантаження у обстеженого на максимальних екстремумах зареєстровано зниження показників **SDSD** – від 0,34 мс перед навантаженням до 0,16 мс після нього ($N = 0,45 \pm 0,02$ мс), **NN50** – від 13 до 3 % ($N = 10,6 \pm 0,02$), **Mo** – від 1,05 до 0,5 ($N = 0,87 \pm 0,02$ мс).

В той же час, відмічено зростання показників **АМо** – від 23,81 до 72,92 ($N = 37,1 \pm 1,1$), **IVR** – від 52,91 до 145,83 ($N = 75,2 \pm 7,6$), **IN** – від 27,78 до 40,01 ($N = 32,3 \pm 2,9$), **HVR-index** – від 20,0 до 87,27 ($N = 29,2 \pm 0,12$).

Через 2 хвилини після навантаження зареєстровано зворотну динаміку досліджуваних показників. При цьому, якщо показники **SDSD**, **Mo**, **АМо** наближались до вихідного рівня, то **NN50**, **IVR**, **IN** виявились навіть вищими, ніж до навантаження. На мінімальних екстремумах реєструвались аналогічні як показники, так і їх динаміка.

Порівняння зареєстрованих на осцилограмі змін з динамікою показників варіаційної пульсометрії, прийнятої для оцінки електрокардіосигналів [5, 6], дає можливість прийти до наступних висновків. Фізичне навантаження сприяє підвищенню тону симпатичної ланки вегетативної нервової системи та зростанню рівня централізації управління системою кровообігу. Повернення уже через 2 хвилини отриманих показників до вихідного рівня свідчить про високу адаптаційну здатність організму обстеженого.

Таким чином, запропоновані нами для аналізу осцилограм показники **SDSD**, **NN50**, **Mo**, **АМо**, **IVR**, **IN**, **HVR-index** дають можливість оцінити функціональний стан автономної нервової системи, рівень централізації управління системою кровообігу та гомеостатичні властивості організму.

Для підтвердження отриманих результатів у 110 студентів 18–20 років, що не мали скарг на стан здоров'я, зареєстрований артеріальний тиск, проведений часовий аналіз осцилограм та визначено індекс Кердо. У двох обстежених з найбільш протилежними показниками індексу Кердо (у № 27 – +33 (симпатикотонія), у № 56 – -36 (ваготонія) проведено порівняльний аналіз досліджуваних часових показників. У ваготоніка, порівняно з симпатикотоніком, виявлено підвищення показників **SDSD** (0,62 мс у першого та 0,40 мс, – у другого), **NN50** – відповідно 12 та 6, **Mo**

– 0,8 та 0,6. В той же час, у першого відмічено зниження показників **АМо** – 59,2 (у другого – 25), **IVR** (відповідно) – 45,4 та 78,0; **IN** – 18,2 та 23,7; **HVR-index** – 45,0 та 25,0. Отримані показники відповідають динаміці результатів обстеженого М, 18 років (приклад 1), зареєстрованих до (як у ваготоніка) та після 30 присідань (як у симпатикотоніка), які засвідчили підвищення тону симпатичної ланки автономної нервової системи зразу після фізичного навантаження і збігаються з вказівками Р. М. Баєвського [5, 6].

Отримані результати дають можливість прийти до висновку, що у стані спокою пацієнту притаманне відносно урівноваження тону обох ланок автономної нервової системи. Фізичне навантаження сприяє збільшенню симпатоадреналових впливів та зростанню рівня централізації управління системою кровообігу. Повернення уже через 2 хвилини отриманих показників до вихідного рівня свідчить про високу адаптаційну здатність організму обстеженого.

Відношення тривалості висхідної частини (анакроти) до тривалості усієї хвилі окремих осциляцій. Аналіз указаних показників засвідчив наступне. На осцилограмі, записаній до навантаження, найчастіше (50 % випадків) анакрота займала 14,5 % тривалості усієї осциляції. Після фізичного навантаження вона зросла до 26 %, через 2 хвилини після навантаження – знизилась до 18 %. Таким чином, фізичне навантаження, що супроводжується підвищенням тону симпатичної ланки автономної нервової системи, сприяє збільшенню відсотка анакротичної фази у тривалості усієї осциляції, що дає можливість засвідчити підвищення тонічного напруження судинної стінки [7], яке мало тенденцію повернення до вихідного рівня уже через 2 хвилини після закінчення тесту.

Висновки. Запропонована інформаційна технологія часового аналізу дозволяє значно розширити можливості процедури вимірювання артеріального тиску за допомогою електронного вимірювача артеріального тиску [4]. Отримана інформація дає можливість оцінити стан гемодинамічних процесів, регуляції і управління станом серцево-судинної системи, активність та взаємодію різних ланок нервової системи, рівень функціонування міо-кардіально-гемодинамічного гомеостазу, тону та реактивність периферійних судин.

Часовий аналіз осцилограм дає також можливість оцінити адаптаційні можливості системи кровообігу та реакцію периферійних судин у відповідь на компресію манжетомою і фізичне навантаження та роль

автономної нервової системи при цьому. Як указує Р. М. Баєвський, застосування адекватних показників вегетативного гомеостазу – ефективний метод діагностики донозологічних і преморбідних станів [5, 6].

Література

1. Минцер О. П. Медицинские информационные системы: пути развития и перспективы в реальной жизни / О. П. Минцер // Кибернетика и вычислительная техника. – 2001. – № 2. – С. 37–60.
2. Marzeniuk V. P. System analysis methods of medical and biological processes / V. P. Marzeniuk, A. G. Nakonechny // Ukrmedknyha. – 2003. – 241 p.
3. US Patent 7907996 B2. Система і метод для обробки та подання інформації аритмії при виявленні та лікуванні аритмії / Klaus Forstner заявник, Microlife Intellectual Property GmbH патентовласник USA - US 11/739,037; заявлений 23.04.2007 року; опубл. 15. 03.2011 року.
4. Вакуленко Д. В. Інформативне значення окремих показників осцилограм судин верхньої кінцівки, зареєстрованих

Запропонована інформаційна технологія може застосовуватися також при вивченні впливів різноманітних факторів (медикаментозної терапії, різних видів фізичного навантаження, мультимедійних чинників та ін.).

- в процесі вимірювання артеріального тиску. / [Д. В. Вакуленко] // Медична інформатика та інженерія. – 2013. – № 4. – С. 67–80.
5. Баевский Р. М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р. М. Баевский, А. П. Берсенева. – М. : Медицина. 1997. – 265 с.
6. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов, Л. В. Чирейкин [и др.] // Вестник аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65–86
7. Педли Т. Гидродинамика крупных кровеносных сосудов / Т. Педли / пер. с англ. – М. : Мир, 1983. – 400 с.