



УКРАЇНА

(19) UA (11) 114332 (13) C2

(51) МПК

A61B 5/02 (2006.01)

A61B 5/0402 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

- (21) Номер заявки: **а 2015 02154**
- (22) Дата подання заявки: **11.03.2015**
- (24) Дата, з якої є чинними права на винахід: **25.05.2017**
- (41) Публікація відомостей про заявку: **10.09.2015, Бюл.№ 17**
- (46) Публікація відомостей про видачу патенту: **25.05.2017, Бюл.№ 10**
- (72) Винахідник(и):
Файнзільберг Леонід Соломонович (UA)
- (73) Власник(и):
МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-НАВЧАЛЬНИЙ ЦЕНТР ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ НАН ТА МОН УКРАЇНИ,
просп. Академіка Глушкова, 40, м. Київ-680, 03680 (UA),
Файнзільберг Леонід Соломонович,
вул. Героїв Дніпра, 36, кв. 17, м. Київ-214, 04214 (UA)

- (56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:
UA 54185 U, 25.10.2010.
UA 87096 U, 27.01.2014.
Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use // European Heart Journal. – 1996. – Vol. 93. – P. 1043–1065.
UA а 2014 02553, 11.08.2014.
Файнзільберг Л.С. Информационная технология оценки адаптационных резервов организма в полевых условиях / Л.С. Файнзильберг, К. Б. Ориховская // Кибернетика и вычисл. техника. – 2015. – Вып.181. – С. 1-22.
Characterization of EEG - A comparative study / Kannathala N., Rajendra Acharya U., Lim C.M. et al. // Computer Methods and Programs in Biomedicine. – 2005. – Vol. 80, – P.17-23.
Di Bernardo D. Computer Model for Study of Cardiac Repolarization / D. Di Bernardo, A. Murray // Journal of Cardiovascular Electrophysiology. – 2000. – Vol.8. – P. 895-899.
Intraindividual variability in electrocardiograms / Schijvenaars B.J., Herpen G., Kors J.A., // Journal of Electrocardiology. – 2008. – Vol.41. – P. 190-196.
Methods derived from nonlinear dynamics for analysing heart rate variability / Voss A., Schulz S., Schroeder R. et al. // Phil. Trans. R. Soc. A. – 2009. – Vol. 367. – P.277–296.
Возможности анализа электрокардиограммы в фазовом пространстве в ходе нагрузочной пробы / Чайковский И.А., Ломаковский А.Н., Деяк С.И., и др. // Український кардіологічний журнал. – 2009. – № 4. – С. 65-70.

UA 114332 C2

(54) СПОСІБ ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ РЕЗЕРВІВ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ ЛЮДИНИ

(57) Реферат:

Винахід належить до способу оцінювання функціональних резервів серцево-судинної системи людини, який ґрунтується на оцінюванні сукупності параметрів ЕКГ та варіабельності серцевого ритму в 3-х послідовних станах - стані спокою, на максимумі навантаження та в період реституції, який передбачає обчислення зазначених параметрів в період реституції після фіксованого проміжку часу після завершення навантаження, що становить 3 хвилини, обчислення відносних показників та подальше оцінювання функціональних резервів серцево-

судинної системи за значенням узагальненого показника η , за значенням лінійної дискримінантної функції D або за значенням логістичної регресії P .

Винахід належить до медицини, а саме до функціональної діагностики, та може бути застосований для визначення ступеня функціональних резервів серцево-судинної системи людини на дії фізичних або емоційних навантажень при масових профілактичних обстеженнях населення в поліклінічних закладах, спортивній та відновній медицині, медицині праці, військовій медицині та для самоконтролю в домашніх умовах.

Відомий спосіб оцінки функціонального стану регуляторних систем організму, заснований на реєстрації електрокардіограми (ЕКГ) в стані спокою, визначенні послідовності нормальних RR-інтервалів та аналізі за цією послідовністю параметрів варіабельності серцевого ритму [Патент Російської Федерації № 2077864, кл. А 61 В 5/04, 5/0402 від 27.04.1997].

Однак аналіз RR-інтервалів лише в стані спокою без навантажувальних проб є недостатнім для судження про функціональні резерви організму. Крім того, аналіз варіабельності ритму серця дозволяє судити лише про стан вегетативної нервової системи, але не є достатнім для того, щоб оцінювати функціональний стан самого серця як основного системоутворюючого органу.

Ці недоліки частково усунені в способі експрес-контролю функціональних резервів міокарда та адекватності фізичного навантаження [Патент України № 87096, кл. А61В 5/02 від 25.06.2013], який передбачає зняття електрокардіограми в одному (наприклад, першому стандартному) відведенні, оцінку за цим сигналом показника симетрії зубця Т у стані спокою, проведення фізичного навантаження в обсязі 75 % від максимального споживання кисню протягом 30 хвилин, повторну реєстрацію електрокардіограми та оцінювання рівня функціональних резервів міокарда і адекватності фізичного навантаження за значеннями збільшення симетрії зубця Т після навантаження.

Однак аналіз лише приросту показника, що характеризує симетрію зубця Т до та після навантаження, не є достатнім для всебічного аналізу ступеня функціональних резервів серцево-судинної системи людини та функціонального напруження організму під впливом фізичних або емоційних перевантажень.

Найбільш близький до способу, що пропонується, є спосіб визначення фізіологічної ціни навантаження, який передбачає реєстрацію ЕКГ у 3-х станах - спокою, на максимумі навантаження та після закінчення періоду реституції, визначення сукупності значень з 10 показників ЕКГ в указаних трьох станах та оцінювання ступеня функціональних резервів серцево-судинної системи за сукупністю зазначених показників, нормованих за середньою частотою серцевих скорочень (ЧСС), та їх відношень для станів "максимум навантаження/стан спокою" та "максимум навантаження/після закінчення періоду реституції" [Патент України № 54185, кл. А61В 5/0452, А61В 5/02, G06N 5/00 від 25.10.2010].

Однак цей патент, який вибрано як прототип способу, що пропонується, має ряд недоліків.

По-перше, нормування показників за ЧСС, не завжди є обґрунтованим, тому що деякі показники ЕКГ, зокрема симетрія зубця Т, в загальному випадку не пов'язана з ЧСС.

Відомо [див. Di Bernardo D., Murray A. Computer model for study of cardiac repolarization // J. Cardiovasc. Electrophysiol. - 2000. - Vol. 11. - P. 895-899], що збільшення симетрії зубця Т несе інформацію про зростання регіональної дисперсії тривалості другої фази потенціалу дії, збільшення трансмурального градієнта величини потенціалу дії та посилення електричної негомогенності реполяризації внаслідок апоптозу кардіоміоцитів.

Саме тому, як показують результати клінічних випробувань, у тренуваних осіб при навантаженні показник симетрії зубця Т може практично не змінюватись при суттєвому збільшенні ЧСС. З іншого боку, у нетренуваних осіб з недостатніми резервами серцево-судинної системи на дії фізичних або емоційних навантажень спостерігаються значні зміни симетрії зубця Т навіть при незначних змінах ЧСС. Аналогічні особливості незалежності від ЧСС у загальному випадку виявлені для інших показників ЕКГ, зокрема, амплітуд зубців Q, R та Т.

По-друге, згідно з способом-прототипом, визначення фізіологічної ціни навантаження ґрунтується лише на відношеннях окремо взятих показників для двох станів "максимум навантаження/стан спокою" та "максимум навантаження/після закінчення періоду реституції", що не враховує можливість компенсаторних реакцій організму на навантаження та не дає можливість інтегрально оцінювати індивідуальні можливості організму до відновлення параметрів ЕКГ та серцевого ритму після навантаження.

По-третє, спосіб-прототип передбачає визначення показників після закінчення періоду реституції, але не враховує проміжок часу, необхідний для відновлення значень показників після завершення навантаження, що також обмежує його можливості для адекватного оцінювання ступеня функціональних резервів серцево-судинної системи та обмежує сфери застосування.

В основу винаходу поставлена задача вдосконалити відомий спосіб оцінювання ступеня функціональних резервів серцево-судинної системи людини на дії фізичних або емоційних навантажень.

5 Поставлена задача вирішується тим, що реєструють ЕКГ в одному відведенні в 3-х послідовних станах - стані спокою, на максимумі навантаження та в період реституції, обчислюють сукупність значень амплітудно-часових параметрів ЕКГ та параметрів варіабельності серцевого ритму в указаних трьох станах, і на відміну від відомого способу, обчислення зазначених параметрів в період реституції здійснюють після фіксованого проміжку часу по завершенню навантаження, ступінь функціональних резервів серцево-судинної системи
10 визначають за сукупністю відносних показників

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i^{(f)} - x_i^{(r)}}{x_i^{(\ell)} - x_i^{(r)}}, \quad i = 1, \dots, N, \quad (1)$$

де

$x_i^{(r)}$, $i = 1, \dots, N$ - параметри ЕКГ та варіабельності серцевого ритму, які обчислені в стані
15 спокою;

$x_i^{(\ell)}$, $i = 1, \dots, N$ - параметри ЕКГ та варіабельності серцевого ритму, які обчислені одразу після закінчення навантаження;

$x_i^{(f)}$, $i = 1, \dots, N$ - параметри ЕКГ та варіабельності серцевого ритму, які обчислені після фіксованого проміжку часу по завершенню навантаження.

20 Визначення ступеня функціональних резервів серцево-судинної системи, згідно зі способом, що пропонується, може здійснюватися одним з трьох варіантів, а саме:

Варіант 1. За значенням узагальненого показника (індексу)

$$\eta = \sqrt{\sum_{i=1}^N \tilde{x}_i^2}, \quad (2)$$

25 який являє собою довжину вектора $x^{(N)} = (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_N)$ з компонентами \tilde{x}_i $i = 1, \dots, N$, що обчислюються згідно з (1) для людини, яка тестується.

Варіант 2. За знаком лінійної дискримінантної функції

$$D = \sum_{i=1}^N a_i \tilde{x}_i + a_0, \quad (3)$$

30 в якій коефіцієнти a_0, a_1, \dots, a_N попередньо визначені методом дискримінантного аналізу за вибірками спостережень тренованих та нетренованих волонтерів, а \tilde{x}_i , $i = 1, \dots, N$ поточні значення відносних показників, що обчислюються згідно з (1) для людини, яка тестується.

Варіант 3. За значенням логістичної регресії

$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}}, \quad (4)$$

35

де

$e \approx 2,71$ - основа натуральних логарифмів;

$z = \sum_{i=1}^N b_i \tilde{x}_i + b_0$ - показник ступеня;

40 \tilde{x}_i - поточні значення відносних показників, обчислені згідно з (1) для людини, яка тестується;

b_0, b_1, \dots, b_N - коефіцієнти, які попередньо визначені методом побудови логістичної регресії за вибірками спостережень тренованих та нетренованих волонтерів.

Сукупність ознак, що відрізняють цей спосіб від відомих (наявність додаткових операцій, які зводяться до обчислення сукупності значень амплітудно-часових параметрів ЕКГ та параметрів

варіабельності серцевого ритму в період реституції після фіксованого проміжку часу по завершенню навантаження, визначення відносних показників згідно зі співвідношенням (1) та обчислення значення узагальненого показника (2), знаку дискримінантної функції (3) або значення логістичної регресії (4) дозволяє в будь-яких умовах інтегрально оцінювати ступінь

5

функціональних резервів серцево-судинної системи конкретної людини до дії фізичних та емоційних навантаження з урахуванням індивідуальних особливостей процесу відновлення за певний період реституції параметрів ЕКГ та варіабельності серцевого ритму до вихідних значень, які були у стані спокою.

10

Спосіб оцінювання ступеня функціональних резервів серцево-судинної системи, що пропонується, складається з послідовності таких дій.
У стані спокою реєструється ЕКГ людини, що тестується, в одному з відведень, наприклад, в першому стандартному відведенні. Зареєстрований сигнал вводиться в комп'ютер, за допомогою якого обчислюються усереднені значення амплітудно-часових параметрів ЕКГ та параметрів варіабельності серцевого ритму, тобто показники

15

$$x_i^{(r)}, i=1, \dots, N. \quad (5)$$

Число N таких показників та їх конкретний склад вибирається в залежності від умов та задач проведення тестування. Зокрема як амплітудно-часові показники ЕКГ можуть бути використані такі параметри:

20

- ЧСС - частота серцевих скорочень;
- A_P, A_Q, A_R, A_S, A_T - амплітуди відповідно зубців P, Q, R, S, T;
- Δ_Q - тривалість зубця Q;
- Δ_{PQ}, Δ_{QT} - тривалості відповідно інтервалів PQ і QT;
- δ_{ST} зміщення вниз (депресія) або вверх (елевація) сегменту ST відносно ізоелектричної лінії;
- β_T - симетрія зубця T;
- $СКО_{\beta_T}$ середнє квадратичне відхилення симетрій зубців T на послідовності зареєстрованих циклів ЕКГ.

25

Як параметри варіабельності серцевого ритму можуть бути використані стандартні статистичні та спектральні показники, зокрема

30

- SDNN- стандартне відхилення масиву кардіоінтервалів (RR-інтервалів);
- M_o - мода кардіоінтервалограми;
- AM_o амплітуда моди кардіоінтервалограми;
- IH - індекс напруги Баєвського;
- LF/HF - симпатовагусний індекс, що визначається співвідношенням потужностей спектрального розкладу кардіоінтервалограми в областях низьких та високих частот.

35

Для надійного визначення параметрів варіабельності серцевого ритму необхідно зареєструвати не менш ніж $M = 100$ нормальних кардіоциклів (вилучивши екстрасистолічні комплекси та артефакти, якщо вони з'являться).

40

Визначені показники (5), що відповідають стану спокою, зберігаються в пам'яті комп'ютера, після чого проводиться тест (проба) з дозованим фізичним навантаженням або стандартизованим емоційним навантаженням.

Як дозоване фізичне навантаження може бути застосовано, наприклад, тест, який передбачає серію з 20 глибоких присідань за 30 секунд.

45

Як стандартизоване емоційне навантаження можуть бути використані комп'ютерні іграшки, які зводяться до стимулювання простих або складних зорово-моторних реакцій людини на стимули в умовах дефіциту часу. Час виконання стандартизованого емоційного навантаження обмежується фіксованим проміжком часу, наприклад 60 секундами.

50

Зазначені стимули можуть бути реалізовані, наприклад, графічними фігурами, що випадково з'являються на екрані монітора та мають характер сигналів збудливого типу, на які випробовуваний повинен реагувати шляхом натискання відповідних клавіш, і сигналів гальмівного типу, при появі яких випробовуваний не повинен натискати ніяких клавіш. У процесі виконання тесту при правильних діях темп пред'явлення стимулів автоматично прискорюється, а при помилкових діях сповільнюється, що викликає додаткову стресову ситуацію для людини, що тестується.

55

Одразу після завершення тесту з фізичним або емоційним навантаженням проводиться повторна реєстрація ЕКГ та визначення тієї ж самої сукупності показників, але вже отриманих на висоті напруги, тобто показників

$$x_i^{(\ell)}, i=1, \dots, N. \quad (6)$$

Показники (6) також зберігаються в пам'яті комп'ютера, після чого людина, що тестується, відпочиває. Проміжок часу відпочинку (реституції) фіксується певною величиною, наприклад 3-ма хвилинами.

5 Одроз після завершення цього терміну знову реєструється ЕКГ та визначається сукупність показників

$$x_i^{(f)}, i=1, \dots, N. \quad (7)$$

10 Далі на основі показників (5), (6), збережених в пам'яті комп'ютера, та показників (7), що відповідають стану реституції, обчислюється сукупність відносних показників

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i^{(f)} - x_i^{(r)}}{x_i^{(\ell)} - x_i^{(r)}}, \quad i=1, \dots, N, \quad (8)$$

15 які несуть інформацію про індивідуальні властивості організму до відновлення значень амплітудно-часових параметрів ЕКГ та параметрів варіабельності серцевого ритму на фіксованому за часом етапі реституції до відповідних вихідних параметрів, що спостерігалися до навантаження.

На основі визначених показників (8) оцінюється ступінь функціональних резервів серцево-судинної системи одним з трьох зазначених варіантів.

20 Якщо така оцінка здійснюється за першим варіантом, то за показниками (8) обчислюється узагальнений показник (2), який порівнюється з порогом η_0 , попередньо визначеним на основі статистичної обробки вибірок спостережень тренуваних та нетренуваних волонтерів. Тобто рішення про функціональні резерви серцево-судинної системи приймаються за пороговим правилом

25 Задовільно, якщо $\eta \leq \eta_0$;

Незадовільно, якщо $\eta > \eta_0$. (9)

30 Якщо оцінка ступеня функціональних резервів серцево-судинної системи здійснюється за другим варіантом, то за показниками (8) обчислюється дискримінантна функція (3) з попередньо визначеними коефіцієнтами a_0, a_1, \dots, a_N , отриманими методами дискримінантного аналізу на основі обробки вибірок спостережень тренуваних та нетренуваних волонтерів. Рішення про функціональні резерви серцево-судинної системи приймають за знаком дискримінантної функції, тобто за правилом

задовільно, якщо $D \leq 0$;

35 незадовільно, якщо $D > 0$. (10)

Якщо оцінка ступеня функціональних резервів серцево-судинної системи здійснюється за третім варіантом, то за показниками (8) обчислюється логістична регресія (4) з попередньо визначеними коефіцієнтами b_0, b_1, \dots, b_N , отриманими методом побудови логістичної регресії на основі обробки вибірок спостережень тренуваних та нетренуваних волонтерів.

40 В цьому випадку рішення про функціональні резерви серцево-судинної системи приймають на основі порівняння поточного значення логістичної регресії з попередньо визначеним порогом P_0 , яке також отримується на основі статистичної обробки вибірок спостережень тренуваних та нетренуваних волонтерів. Тобто рішення приймається за правилом

45 задовільно, якщо $P \leq P_0$;

незадовільно, якщо $P > P_0$. (11)

Зауважимо, що згідно з (4) значення логістичної регресія задовольняє нерівність

$$0 \leq P \leq 1. \quad (12)$$

Це дає можливість при прийнятті рішень використовувати не один, а декілька порогових значень, наприклад два порогових значення $p_0^{(1)}$ та $p_0^{(2)}$ таких, що

$$0 < p_0^{(1)} < p_0^{(2)} < 1, \quad (13)$$

5 та приймати більш "обережні" рішення про ступінь функціональних резервів серцево-судинної системи за правилом задовільно, якщо $p \leq p_0^{(1)}$;
умовно задовільно, якщо

$$p_0^{(1)} < p \leq p_0^{(2)}; \quad (14)$$

10

незадовільно, якщо $p > p_0^{(2)}$.

Наведемо приклади застосування правила (9) для тренованої та нетренованою людини у випадку, коли при тестуванні використовувалось $N=6$ показників, значення яких наведено в таблицях 1, 2.

15

Таблиця 1

Значення показників для тренованої людини

	Результати тестування					
	ЧСС, уд/хв...	β_T , у.о	СКО_ β_T , у.о	$\bar{\delta}_{ST}$, мВ	SDNN, мс	IH, у.о
Спокій $x_i^{(r)}$	75,4	0,704	0,127	0,00423	107	38,24
Навантаження $x_i^{(e)}$	132	1,55	0,378	-0,0517	22	861,1
Реституція $x_i^{(f)}$	83,7	0,864	0,147	-0,012	52	131,5
Відносний показник \tilde{x}_i	0,1466	0,1891	0,0797	0,2902	0,6471	0,1133

Таблиця 2

Значення показників для нетренованої людини

	Результати тестування					
	ЧСС, уд/хв...	β_T , у.о	СКО_ β_T , у.о	$\bar{\delta}_{ST}$, мВ	SDNN, мс	IH, у.о
Спокій $x_i^{(r)}$	75,8	0,658	0,0645	0,0248	36	254,1
Навантаження $x_i^{(e)}$	81	0,816	0,0883	0,00175	46	145,4
Реституція $x_i^{(f)}$	66,4	0,649	0,144	0,0169	57	74,6
Відносний показник \tilde{x}_i	-1,8077	-0,0567	3,3403	0,3427	2,1	1,651

20

За даними таблиць обчислимо значення узагальненого показника (2), який для тренованої людини дорівнює $\eta = 0,761$, а для нетренованої людини дорівнює $\eta = 4.66$ у.о. Отже, згідно з правилом (9), якщо поріг має значення $\eta_0=2,5$ у.о., то приймаємо рішення, що ступінь функціональних резервів серцево-судинної системи першої людини слід вважати задовільним, а другої - незадовільним.

25

Розглянемо тепер приклад прийняття рішень за дискримінантною функцією (3), яка попередньо побудована для сукупності цих показників методом дискримінантного аналізу та має вигляд

$$D=0,91 ЧСС + 0,82\beta_T + 1,15 СКО_{\beta_T} + 1,03\delta_{ST} + i, 21SDNN+0,94IH - 5. \quad (15)$$

Підстановка в вираз (15) значень відносних показників з таблиць 1 і 2, отриманих при тестуванні, показує, що $D = -3,431 < 0$ для тренованої людини та $D=1,596 > 0$ для нетренованої людини. Отже, згідно з правилом (10), в даному випадку теж приймаємо рішення, що ступінь функціональних резервів серцево-судинної системи першої людини слід вважати задовільним, а другої - незадовільним.

На завершення розглянемо приклад прийняття рішень за логістичною регресією

$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}}, \quad (16)$$

з попередньо визначеним показником ступеня z , яка має вигляд

$$z=0,91 ЧСС + 0,82\beta_T + 1,15 СКО_{\beta_T} + 1,03\delta_{ST} + i, 21SDNN+0,94IH - 5. \quad (17)$$

Обрахунок за (16) значень логістичної регресії з урахуванням виразу (17) та значень відносних показників з таблиць 1 і 2, отриманих при тестуванні, показує, що $P = 0,031$ для тренованої людини та $P = 0,831$ для нетренованої людини. Звідси випливає, що згідно з правилом (11), якщо поріг дорівнює $P_0=0,5$, то в даному випадку теж слід прийняти рішення про задовільний ступінь функціональних резервів серцево-судинної системи першої людини та незадовільний другої людини.

Таким чином, запропонований спосіб, заснований на визначенні сукупності відносних показників (1), що можуть бути обчислені при реєстрації одноканальної ЕКГ, дозволяє на основі достатньо простих правил, які легко можуть бути реалізовані на комп'ютері, в будь-яких умовах інтегрально оцінювати ступінь функціональних резервів серцево-судинної системи конкретної людини на дії фізичних та емоційних навантажень з урахуванням індивідуальних особливостей процесу відновлення за певний період реституції параметрів ЕКГ та варіабельності серцевого ритму до вихідних значень, які спостерігалися у стані спокою.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб оцінювання функціональних резервів серцево-судинної системи людини, який полягає в тому, що реєструють електрокардіограму (ЕКГ) в одному відведенні в 3-х послідовних станах - стані спокою, на максимумі навантаження та в період реституції, обчислюють сукупність значень амплітудно-часових параметрів ЕКГ та параметрів варіабельності серцевого ритму в указаних трьох станах, який **відрізняється** тим, що обчислення зазначених параметрів в період реституції здійснюють після фіксованого проміжку часу по завершенню навантаження, що становить 3 хвилини, далі обчислюють відносні показники:

$$\bar{x}_i = \frac{x_i^{(f)} - x_i^{(r)}}{x_i^{(e)} - x_i^{(r)}}, \quad i = 1, \dots, N,$$

де

$x_i^{(r)}$, $i=1, \dots, N$ - параметри ЕКГ та варіабельності серцевого ритму, які обчислені в стані спокою;

$x_i^{(e)}$, $i=1, \dots, N$ - параметри ЕКГ та варіабельності серцевого ритму, які обчислені одразу після закінчення навантаження;

$x_i^{(f)}$, $i=1, \dots, N$ - параметри ЕКГ та варіабельності серцевого ритму, які обчислені після фіксованого проміжку часу по завершенню навантаження,

та оцінюють резерви серцево-судинної системи за наступними варіантами:

- за значенням узагальненого показника

$$\eta = \sqrt{\sum_{i=1}^N \bar{x}_i^2},$$

який порівнюють з попередньо визначеним за вибірками спостережень пороговим значенням η_0 , та приймають рішення "задовільно", якщо $\eta \leq \eta_0$, та "незадовільно", якщо $\eta \geq \eta_0$;
 - за знаком лінійної дискримінантної функції

$$D = \sum_{i=1}^N a_i \tilde{x}_i + a_0,$$

5 де a_0, a_1, \dots, a_N - коефіцієнти, які попередньо визначають методом дискримінантного аналізу за вибірками спостережень, та приймають рішення "задовільно", якщо $D \leq 0$, та "незадовільно", якщо $D > 0$, за значенням логістичної регресії

10
$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}},$$

де $e \approx 2,71$ - основа натуральних логарифмів;

$$z = \sum_{i=1}^N b_i \tilde{x}_i + b_0$$

- показник ступеня, що обчислюють за коефіцієнтами b_0, b_1, \dots, b_N , які попередньо

15 визначають методом побудови логістичної регресії за вибірками спостережень, та приймають рішення "задовільно", якщо $P \leq 0,5$, та "незадовільно", якщо $P > 0,5$.