

УДК 519.7/616.1

<https://doi.org/10.17721/1812-5409.2023/2.36>

Іванов С.М.<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., доц.  
Матвієнко С.О.<sup>2</sup>, к. мед. н., доц.

S. M. Ivanov<sup>1</sup>, PhD (Phys.-Math.),  
S. O. Matviienko<sup>2</sup>, PhD (Med.)

### Розпізнавання порушень серцевого ритму у дітей за інтегральними параметрами електрокардіограм

### Recognition of heart rhythm disorders in children by integral parameters of electrocardiograms

<sup>1</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 83000, м. Київ, пр-т. Глушкова 4д,

e-mail: smivanov87@knu.ua,

<sup>2</sup> Харківський національний медичний університет, 61001, м. Харків, просп. Перемоги, 60 e-mail: so.matviienko@knmu.edu.ua

<sup>1</sup> Taras Shevchenko National University of Kyiv, 83000, Kyiv, Glushkova st., 4d, e-mail: smivanov87@knu.ua,

<sup>2</sup> Kharkiv National Medical University, 61001, Kharkiv, Peremogy ave., 60, e-mail: so.matviienko@knmu.edu.ua

*У роботі розглядається організація таблиці бази даних для накопичення інтегральних параметрів електрокардіограм дітей чоловічої і жіночої статі прифронтового регіону проживання (м. Харкова та Харківської області України). Представлено розраховані основні числові характеристики інтегральних параметрів ЕКГ, а саме математичне сподівання, дисперсія та СКВ з захворюваннями порушень серцевого ритму. Досліджується застосування логістичної регресії для визначення ступеня порушення серцевого ритму, який визначається в інтервалі (0;1).*

*Ключові слова: електрокардіограма, регресія, ступінь порушення серцевого ритму.*

*The article deals with the organization of a database table for the accumulation of integral parameters of electrocardiograms of male and female children in the front-line region of residence (the city of Kharkiv and the Kharkiv region of Ukraine). The calculated main numerical characteristics of integral ECG parameters such as mathematical expectation, variance and standard deviation with heart rhythm disorders are presented. The application of logistic regression to determine the degree of heart rhythm disturbance, which is determined in the interval (0;1), is considered. Representation of logistic regression as multiple linear regression is described. The LSE method is used to estimate the parameters. A correlation matrix of linearly independent integral ECG parameters is given. The obtained results may be of interest to developers of software applications designed for personal health monitoring.*

*Key Words: electrocardiogram, regression, degree of heart rhythm disturbance.*

Статтю представив д.т.н., проф. Волошин О.Ф.

#### 1. Вступ

Однією з важливих проблем дитячої кардіології є своєчасна діагностика та раціональне лікування захворювань серцево-судинної системи [1]. Особливістю цієї системи у дітей є постійне змінювання анатомічної і функціональної частин, а тому діагностика захворювань може ускладнюватися [2]. Наприклад, наявні порушення серцевого ритму можуть також викликатися порушеннями нервової системи, супутніми метаболічними або електролітними змінами [1]. Незважаючи на «прихований» характер багатьох дизритмій, вони можуть спричинити формування серцевої недостатності, серцевих емболій і бути пов'язаними з підвищеним ризиком раптової серцевої смерті [3], [4]. У кардіологічній діагностиці порушень серцевого ритму найбільш розповсюдженим,

функціональним та скринінговим методом є електрокардіографія [5], [6]. Дослідженню специфічної ідентичності аритмії присвячується багато робіт, серед яких особливої уваги заслуговують праці автоматизованого виявлення порушень серцевого ритму [7], оцінювання R-R інтервалу (відстань між R-зубцями на ЕКГ) та дослідження змінювання серцевого ритму на основі електрокардіограм (ЕКГ), отриманих на портативних пристроях [8]. Однак, отримані ЕКГ з портативних пристроїв рідко проходять достатнє тестування медичними експертами і містять шумові ефекти, які ускладнюють знаходження QRS комплексів (на ЕКГ), а також оцінювання R-R інтервалу (на ЕКГ), який необхідний також для розрахунку частоти серцевих скорочень [8], [9]. Крім того, потрібно остерігатися комп'ютерних рекомендацій, які часто присутні в



"SIndex%" — систолічний індекс (норма 95 - 114 %);

"Diagnosis1" — основний діагноз;

"Diagnosis2" — супровідний діагноз;

З 14 вересня 2023 року було розпочато внесення даних пацієнтів (дітей) жіночої і чоловічої статі з порушеннями серцевого ритму та без порушень у створену таблицю бази даних.

За наявними даними на поточний момент розраховано основні статистичні показники (математичне сподівання -  $M(*)$ , дисперсія -  $VAR(*)$ , середньоквадратичне відхилення -  $STD(*)$ ) та зображено частотні діаграми.

Визначення віку відбувається як різниця між роком на момент проведення дослідження та роком народження (рис.1).

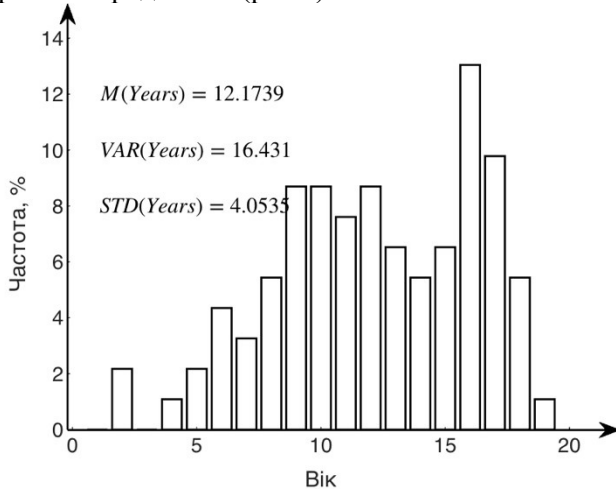


Рис. 1 Частота пацієнтів з порушеннями серцевого ритму за віком

Частотна діаграма для дітей з порушеннями серцевого ритму за статтю зображена на рис. 2

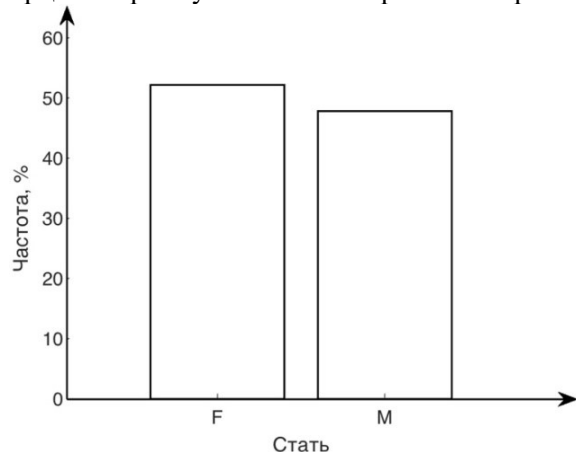


Рис. 2 Частота пацієнтів з порушеннями серцевого ритму за статтю.

Для дослідження частоти серцевих скорочень (ЧСС (HRF), уд./хв.) було утворено 7 груп, у кожен з яких потрапляють пацієнти за правилами:

Якщо  $HRF \leq 50$ , то "1) $\leq 50$ ";

якщо  $HRF \leq 60$  і  $HRF > 50$ ) то "2)50-60";

якщо  $HRF \leq 70$  і  $HRF > 60$ ) то "3)60-70";

якщо  $HRF \leq 80$  і  $HRF > 70$ ) то "4)70-80";

якщо  $HRF \leq 90$  і  $HRF > 80$ ) то "5)80-90";

якщо  $HRF \leq 100$  і  $HRF > 90$ ) то "6)90-100";

якщо  $HRF > 100$  то "7)>100" (рис. 3).

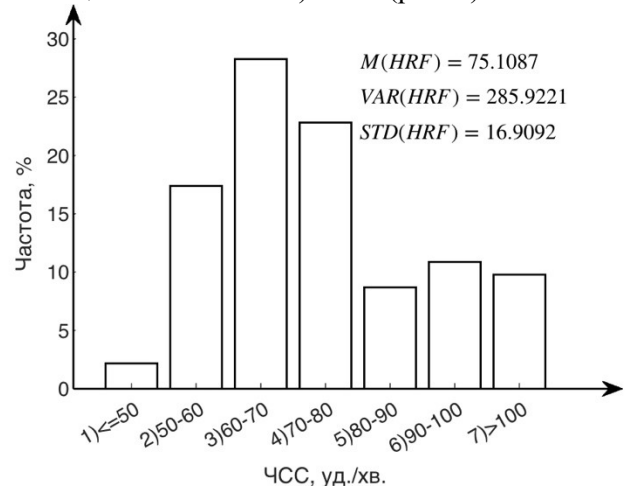


Рис. 3 Частота пацієнтів з порушеннями серцевого ритму за частотою серцевих скорочень (ЧСС (HRF), уд./хв.)

Електрична вісь серця має встановлену класифікацію, що відображено на рис. 4, а на рис.5 відображено частоту встановлених діагнозів на наявній вибірці.

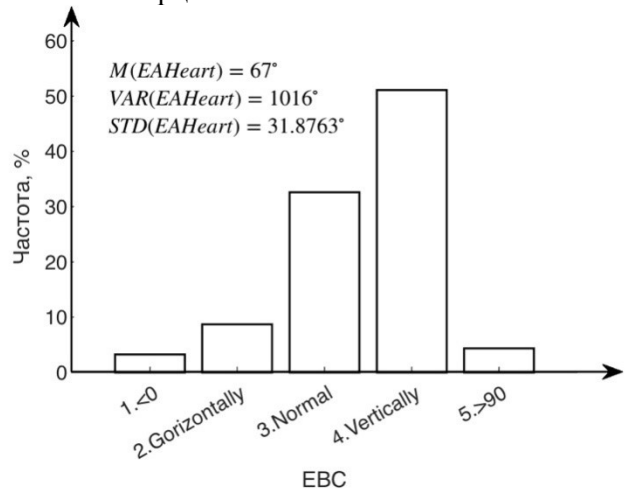


Рис. 4 Частота пацієнтів з порушеннями серцевого ритму за EBC (електричною віссю серця - EAHeart)

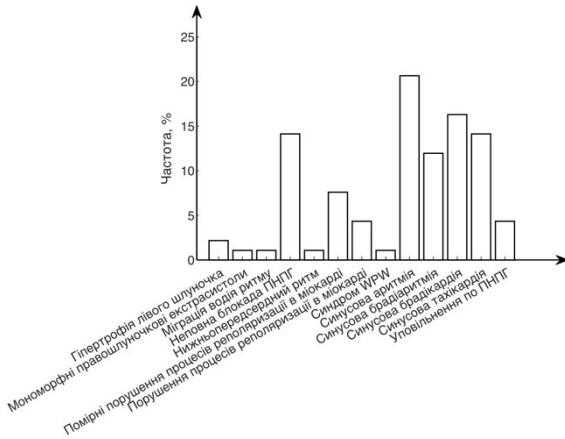


Рис. 5 Частота пацієнтів з порушеннями серцевого ритму за основним діагнозом

Для інших некорельованих інтегральних показників наведемо їх основні числові характеристики, попередньо обчисливши кореляційну матрицю (табл. 1). Оскільки кореляційна матриця симетрична відносно головної діагоналі, достатньо відобразити нижньотрикутну матрицю без високорельованих показників.

Таблиця 1

Кореляційна матриця низькорельованих інтегральних параметрів ЕКГ (індекс кореляції <0,7)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,0									
2	-0,4	1,0								
3	0,2	0,1	1,0							
4	0,1	-0,2	-0,1	1,0						
5	0,3	-0,3	0,1	0,2	1,0					
6	0,2	-0,4	0,1	0,2	-0,1	1,0				
7	0,3	-0,1	0,1	0,1	-0,1	0,6	1,0			
8	0,3	-0,4	-0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	1,0		
9	0,1	-0,4	-0,1	0,1	-0,3	0,3	0,2	0,1	1,0	
10	-0,3	0,5	-0,2	-0,1	-0,5	-0,1	-0,2	-0,1	0,1	1,0

Закодовані значення параметрів у таблиці 1 (у заголовках рядків і стовпців):

1 — years; 2 — HRF; 3 — WaveCorner(P); 4 — WaveCorner(QRS); 5 — WaveCorner(T); 6 — P(ms); 7 — PQ(ms); 8 — QRS(ms); 9 — ST(ms); 10 — QTc(ms).

Наведені інтегральні параметри ЕКГ та статевої належності є мінімально необхідними для визначення порушень серцевого ритму.

Основні числові характеристики досліджуваних інтегральних параметрів ЕКГ: математичне сподівання з однаковими ймовірностями; дисперсія, нормалізована на n-1 спостережень, де n - загальна кількість спостережень (на рис. 1, 3, 4); дисперсія, нормалізована за кількістю спостережень n; середньоквадратичне відхилення, нормалізоване на n-1 спостережень, де n - загальна кількість спостережень (на рис. 1, 3, 4); середньоквадратичне відхилення, нормалізоване за кількістю спостережень n (табл. 2).

Для подальшого аналізу закодуємо значення статі пацієнтів: для чоловічої (Male)=1, а для жіночої (Female)=2. При використанні математичної моделі, яка визначатиме ступінь порушення серцевого ритму, достатньо буде застосувати код 1 або 2.

Для навчальної вибірки було обрано 10 вище згаданих інтегральних показників ЕКГ і статевої належності. Пропонується застосувати логістичну регресію для визначення ступеня порушення серцевого ритму наступного вигляду

$$y = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_{11} * x_{11})}}, \quad (1)$$

де  $x_j, j = 1, 2, \dots, 11$  — значення статі та 10 наведених вище інтегральних параметрів ЕКГ,  $b_0, b_j, j = 1, 2, \dots, 11$  — параметри моделі (1),  $y$  — належить інтервалу (0; 1), що зручно інтерпретувати як ступінь порушення серцевого ритму.

Модель (1) може бути приведена до множинної лінійної регресії за допомогою перетворень

$$1 + e^{-(b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_{11} * x_{11})} = \frac{1}{y},$$

$$e^{-(b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_{11} * x_{11})} = \frac{1}{y} - 1.$$

Оскільки  $b_0, b_j, j = 1, 2, \dots, 11$  — це параметри, які необхідно оцінити, то «-», який стоїть перед дужкою можна прибрати, а при оцінці параметрів він автоматично врахується.

Прологарифмуємо отримане рівняння

$$\ln e^{b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_{11} * x_{11}} = \ln \left( \frac{1}{y} - 1 \right).$$

Використавши властивості логарифму, отримуємо

$$b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_{11} * x_{11} = \ln \left( \frac{1}{y} - 1 \right). \quad (2)$$

Таблиця 2

Основні числові характеристики інтегральних параметрів ЕКГ дітей з порушеннями серцевого ритму

	Years	HR	HR FM	HR FM ax	R-R	R-R min	R-R max	Var(R-R) %	Wave Corner (P)	Wave Corner(QRS)	Wave Corner (T)	P(m s)	PQ(m s)	QRS(m s)	ST(m s)	T(m s)	QT(m s)	QTd(m s)	QTc(m s)	EA Heart	SIndicator %	SIndicator(norm) %	SIndex %
Мат. сподівання	12	75	64	78	830	714	869	35	29	67	33	79	119	98	106	147	349	329	391	67	39	38	97
Дисперсія, норм. п-л	16	285	491	674	30664	54332	81470	387	1315	1096	889	153	444	143	434	520	2116	7738	392	1016	151	127	464
СКВ, норм. п-л	4	16	22	25	175	233	285	19	36	33	29	12	21	11	20	22	46	87	19	31	12	11	21
Дисперсія, норм. п	16	282	486	667	30331	53741	80584	383	1300	1084	879	151	439	141	429	5193	2093	7654	388	1005	149	126	459
СКВ, норм. п	4	16	22	25	174	231	283	19	36	32	29	12	20	11	20	22	45	87	19	31	12	11	21

Усю множину даних було розділено на навчальну та тестову вибірки, кожна з яких мала приблизно однакові показники математичного сподівання і дисперсії за зазначеними інтегральними показниками ЕКГ. Додатково було утворено нове поле для значень  $y$ , а саме 0,99 для зразків з порушенням серцевого ритму, а також 0,01 для зразків без порушень (2 класи).

Результати моделювання представлено на рис. 6.

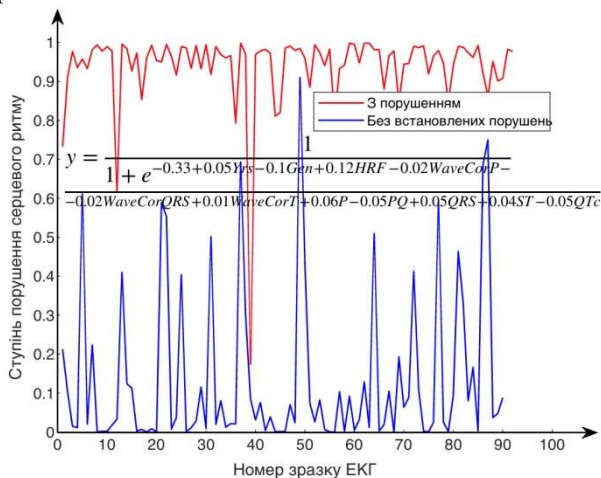


Рис. 6 Результати моделювання на навчальній і тестовій вибірці

Відповідно, для застосування множинної лінійної регресії за рівнянням (2) необхідно виконати перетворення  $\ln\left(\frac{1}{y} - 1\right)$ . Отже, отримуються нові значення  $\{-4,5951; 4,5951\}$  для зразків з порушенням та без порушень серцевого ритму (з граничними випадками), відповідно.

Оцінювання параметрів проведемо за методом найменших квадратів: коефіцієнт множинної детермінації 0,74, є статистично значущим з ймовірністю 0,95 за тестом Фішера.

### 3. Висновки

У роботі описано характеристики розробленої таблиці бази даних для організації збору інтегральних показників ЕКГ на базі реальної лабораторії, а також проведено їх статистичний аналіз для зразків з порушеннями серцевого ритму у дітей прифронтного регіону проживання, що дозволило запропонувати модель у вигляді логістичної регресії для розпізнавання ступеню порушень серцевого ритму.

Автори роботи виражають вдячність лікарю Кривошеї Ганні Василівні за всеосяжну співпрацю і допомогу в організації дослідження.

### Список використаних джерел

1. Особливості ЕКГ-показників у дітей в нормі та при патології: метод. вказ. / упоряд. М. О. Гончарь, Г. С. Сенаторова, Н. К. Мацієвська, Є. В. Іванова та ін. – Харків : ХНМУ, 2019. – 28 с.

2. Анатомо-фізіологічні особливості, методика дослідження і семіотика захворювань серцево-судинної системи у дітей: метод. вказ. / Т. В. Фролова, І. Р. Сіняєва, Н. Ф. Стенкова та ін. – Харків : ХНМУ, 2020. – 41 с.

3. *Drago F.* Neonatal and Pediatric Arrhythmias: Clinical and Electrocardiographic Aspects / F. Drago, I. Battipaglia, C. Di Mambro // *Card Electrophysiol Clin.* — 2018. — № 10(2). P. 397-412. - Режим доступу до журн.: doi:10.1016/j.ccep.2018.02.008

4. *Lambrechts L.* How to interpret an electrocardiogram in children / L. Lambrechts, B. Fourie // *BJA Education.* — 2020. — 20 (8). P. 266-277. - Режим доступу до журн.: doi: 10.1016/j.bjae.2020.03.009

5. *Безрук В.В.* ЕКГ у дітей в нормі та при патології: клінічні випадки – 2-ге вид., випр. та допов. [електронний навчальний посібник] / В.В. Безрук, Ю.М. Нечитайло. – Чернівці: БДМУ, 2023. – 133 с.

6. *Фатула М.І.* Основи практичної електрокардіографії : видання п'яте, перероб. і допов. / М.І. Фатула, О.А. Рішко, М.М. Шютев, В.В. Свистак, Г.Ю. Машура. – Ужгород: Видавництво УЖНУ“Говерла”, 2020. – 80 с.

7. *Недураєва А.Ю.* Автоматизація виявлення порушень ритму серця / Недураєва А.Ю., Рудницька О.В. // *Biomedical Engineering and Technology.* — 2022. — № 2(8). — С. 1—6. — Режим доступу до журн.: <http://biomedtech.kpi.ua/article/download/267898/266273/624359>

8. *Shimauchi S.* R-R Interval Estimation for Wearable Electrocardiogram Based on Single Complex Wavelet Filtering and Morphology-Based Peak Selection / S. Shimauchi, K. Eguchi, R. Aoki, M. Fukui, N. Harada // *IEEE Access.* — 2021. — V.9. — P. 60802–60827. — Режим доступу до журн.: <https://doi.org/10.1109/2Faccess.2021.3070604>

9. *Karadeniz C.* Importance of electrocardiographic markers in predicting cardiac event in children. / C. Karadeniz // *Biomark Med.* — 2020.—№ 14(17). — P. 1679–1689. — Режим доступу до журн.: doi:10.2217/bmm-2020-0391

10. *Rochelson E.* Demystifying the Pediatric Electrocardiogram: Tools for the Practicing Pediatrician / E. Rochelson, Taylor S. Howard, Jeffrey J. Kim // *Pediatr. Rev.* — 2023. — № 44 (1).

— P. 3–13. — Режим доступу до журн.: <https://doi.org/10.1542/pir.2021-005346>

### References

1. GONCHAR, M. O. et al. (2019) Osoblivosti EKG-pokaznikov u ditey v normi ta pri patologiyi: metod. vказ. Kharkiv: KhNMU.

2. FROLOVA T. V. et al. (2020) Anatomo-fiziologichni osoblivosti, metodika doslidzhennya i semiotika zahvoryuvan' sertsevo-sudinnoyi sistemi u ditey: metod. vказ. Kharkiv: KhNMU.

3. DRAGO F., BATTIPAGLIA I., and DI MAMBRO C. (2018) Neonatal and Pediatric Arrhythmias: Clinical and Electrocardiographic Aspects. *Card Electrophysiol Clin.* [Online] 10(2). p. 397-412. Available from: doi:10.1016/j.ccep.2018.02.008 [Accessed: 30 Jun. 2023].

4. LAMBRECHTS L. & FOURIE B. (2020) How to interpret an electrocardiogram in children. *BJA Education.* [Online] 20 (8). P. 266-277. Available from: doi: 10.1016/j.bjae.2020.03.009 [Accessed: 30th Jun 2023].

5. BEZRUK V.V. and NECHITAILO YU.M. (2023) *ECG in children in normal and pathological conditions: clinical cases.* 2 ed. Chernivtsi: BDMU.

6. FATULA M.I. et al. (2020) *Osnovi praktichnoyi elektrokardlografiyi* : 5 Ed., Uzhgorod: Goverla.

7. Neduraeva A.Yu. & Rudnitska O.V. (2022) Avtomatizatsiya viyavlennya porushen ritmu sertsya. *Biomedical Engineering and Technology.* [Online] 2(8). p. 1—6. Available from: <http://biomedtech.kpi.ua/article/download/267898/266273/624359> [Accessed: 30th Jun 2023].

8. SHIMAUCHI S., EGUCHI K., AOKI R., FUKUI M., and HARADA N. (2021) R-R Interval Estimation for Wearable Electrocardiogram Based on Single Complex Wavelet Filtering and Morphology-Based Peak Selection. *IEEE Access.* [Online] V.9. p. 60802–60827. Available from: <https://doi.org/10.1109/2Faccess.2021.3070604> [Accessed:30thJun2023].

9. KARADENIZ C. (2020) Importance of electrocardiographic markers in predicting cardiac event in children. *Biomark Med.* [Online] 14(17). P. 1679–1689. Available from: doi:10.2217/bmm-2020-0391 [Accessed: 30th Jun 2023].

10. ROCHELSON E., TAYLOR S. HOWARD, and JEFFREY J. KIM (2023) Demystifying the Pediatric Electrocardiogram: Tools for the Practicing Pediatrician. *Pediatr. Rev.* [Online] 44 (1). p. 3–13. Available from: <https://doi.org/10.1542/pir.2021-005346> [Accessed: 30th Jun 2023].

Надійшла до редколегії 20.10.23