

Носовець Олена Костянтинівна

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри Біомедичної кібернетики
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Носовец Елена Константиновна

*кандидат технических наук,
доцент кафедры Биомедицинской кибернетики
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

Nosovets Elena

*Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Biomedical Cybernetics
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

Москаленко Аліна Євгеніївна

*студентка магістратури
спеціальності «Інформаційні технології в біології та медицині»
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Москаленко Алина Евгеньевна

*студентка магистратуры
специальности «Информационные технологии в биологии и медицине»
Национального технического университета Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

Moskalenko Alina

*Master's Student of Specialty
«Information Technologies in Biology and Medicine» of the
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

МЕДИЧНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ЙМОВІРНОСТІ НАСТАННЯ РЕОПЕРАЦІЙ АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА ТА ВИСХІДНОГО ТРАКТУ ПРАВОГО ШЛУНОЧКА

МЕДИЦИНСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ НАСТУПЛЕНИЯ РЕОПЕРАЦИЙ АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА И ВОСХОДЯЩЕГО ТРАКТА ПРАВОГО ЖЕЛУДОЧКА

MEDICAL INFORMATION SYSTEM FOR PREDICTING REOPERATION AORTIC VALVE AND RIGHT VENTRICULAR OUTFLOW TRACT

Анотація. В роботі наведені результати розробки складових медичної інформаційної системи прогнозування ймовірності настання реоперацій у післяопераційний період у дітей після втручання на серці. Складовими даної системи є математично змодельовані класифікатори оцінки ймовірності настання повторної операції аортального клапану та висхідного тракту правого шлуночка методом групового урахування аргументів з використання покровкового алгоритму з додаванням. Розроблені математичні моделі показали високі показники точності на навчальній, екзаменаційній та тестовій вибірках.

Ключові слова: реоперація, аортальний клапан, висхідний тракт правого шлуночка, прогнозування, метод групового урахування аргументів, математична модель, медична інформаційна система.

Аннотация. В работе приведены результаты разработки составляющих медицинской информационной системы прогнозирования вероятности наступления реопераций в послеоперационный период у детей после вмешательств на сердце. Составляющими данной системы является математически смоделированные классификаторы оценки вероятности наступления повторной операции аортального клапана и восходящего тракта правого желудочка методом группового учета аргументов с использованием пошагового алгоритма с добавлением. Разработанные математические модели показали высокие показатели точности на учебной, экзаменационной и тестовой выборках.

Ключевые слова: реоперация, аортальный клапан, восходящий тракт правого желудочка, прогнозирование, метод группового учета аргументов, математическая модель, медицинская информационная система.

Summary. The results of developing components of a medical information system for predicting reoperation in the postoperative period in children after heart surgery. The components of this system are mathematically modeled classifiers for assessing the likelihood of an offensive reoperation aortic valve and right ventricular outflow tract the group method of data handling for the use of a step-by-step algorithm with the addition. The developed mathematical models showed high accuracy indicators on the training, examination and test samples.

Key words: reoperations, aortic valve, right ventricular outflow tract, predicting, group method of data handling, mathematical model, medical information system.

Вступ. Проблема порушення діяльності серцево-судинної системи у дітей в останні роки привертає все більше і більше уваги. В наш час трапляються випадки народжуваності дітей вже як з вадами серця, так і набутим захворюванням. В більшості з цих ситуацій діти потребують інтенсивної терапії, операцій, попередження рецидивів захворювання. Розглядаючи операційні втручання постає питання визначення та контролю стану організму дітей у післяопераційний період з метою попередження виникнення різного роду ускладнень.

Одним з основних шляхів вирішення даного питання є використання медичні інформаційних систем, що дозволяють забезпечити автоматизоване збирання відомостей про стан пацієнтів, їх опрацювання в реальному часі та моніторингу стану впродовж усього лікування [1].

Для діагностики патологічних станів і вироблення рекомендацій щодо способів лікування при захворюваннях різного профілю і для різних категорій хворих використовуються медичні консультативно-діагностичні системи. Вони дають можливість на основі інформації про клінічні прояви зробити кваліфікований висновок по кожному конкретному випадку і виробити оптимальну стратегію лікування хворого [2].

Більшість з цих системи працюють на основі методів математичного моделювання виникнення патологічних процесів, що спричиненні післяопераційними ускладненнями, прогнозуванні перебігу цих процесів з урахування факторів впливу.

Для обробки медичних даних використовують різні методи математичної статистики, наприклад такі, як регресійний та дискримінантний аналізи [3, 4], метод групового урахування аргументів [5]. Вони призначені для виявлення закономірностей, пошуку відмінностей між окремими групами об'єктів, оцінки впливу на них різноманітних зовнішніх

факторів. Опис властивостей об'єктів також називають моделями даних, що не містять будь-якої інформації або гіпотез про внутрішню структуру реального об'єкта і спираються лише на результати клінічних та інструментальних показників.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є створення медичної інформаційної системи, основними складовими якої є результати математичного моделювання ймовірності настання реоперацій аортального клапану та висхідного тракту правого шлуночка у дітей. Це дозволить підвищити якість проведення доопераційних, операційних та післяопераційних заходів, що сприятимуть кращому протіканню післяопераційного періоду та скорішого покращення стану дітей без проведення не запланованих повторних хірургічних втручань.

Поставленими завданнями є:

- розробка структури медичної інформаційної системи підтримки прийняття рішень лікарем-кардіологом, яка ґрунтується на математичному моделюванні фізіологічних процесів пацієнтів з метою об'єктивізації та автоматизації процесу проведення доопераційних, операційних та післяопераційних маніпуляцій хворим для уникнення розвитку патологічних процесів;
- розробка математичних моделей прогнозування ймовірності проведення реоперацій аортального клапану та висхідного тракту правого шлуночка у дітей, оцінка ефективності їх використання на навчальній, екзаменаційній та тестовій вибірках.

Матеріали та методи дослідження. Матеріалами для аналізу перебігу післяопераційного періоду у дітей після втручань на серці та прогнозування ймовірності настання реоперацій аортального клапану та висхідного тракту правого шлуночка послугувала база даних, в якій містяться передопераційні, операційні та післяопераційні клінічні показники дітей з захворюваністю

серцево-судинної системи, відомості про кількість проведених повторних операцій аортального клапану (АК) та висхідного тракту правого шлуночка (ВТПШ).

Загальна кількість пацієнтів становить 408 дітей, з яких у 356 (87,3 %) вроджена патологія серця. Середній вік дітей склав 92 місяці, вага — 27,6 кг.

В процесі лікування всім дітям було проведено оперативне втручання, середній час якого дорівнював 455,4 хвилин із застосуванням перфузії.

В результаті проведеного оперативного лікування у післяопераційний період реоперацію АК було виконано 4,9 % пацієнтам, а реоперацію ВТПШ 112 (27,5 %) пацієнтам.

Для отримання прогностичних параметрів, що дозволять передбачити настання потреби в проведенні реоперацій АК та ВТПШ у дітей використане математичне моделювання методом групового урахування аргументів (МГУА) [5], із застосування покрокового алгоритму з додаванням, програмного засобу GMDH Shell DS3.8.3.

Всі дані випадковим чином були розподілені на навчальну, екзаменаційну та тестову вибірки. До навчальної вибірки увійшло 294 пацієнта (70 %), до екзаменаційної — 74 (20 %) та до тестової вибірки 40 (10 %) пацієнтів.

Оцінка ефективності побудованої математичної моделі була проведена за допомогою показників чутливості, точності передбачених значень та площі під ROC-кривими для кожної з обраних вибірок.

Результати та обговорення. Запропонована медична інформаційна система (МІС) включає в себе

етапи математичного моделювання виникнення повторної операції ВТПШ та АК в післяопераційний період у дітей. Це дозволяє отримати кількісну оцінку ймовірності виникнення реоперації ВТПШ та АК на основі раніше отриманих клінічних та інструментальних доопераційних, операційних на післяопераційних показників. Загальна структура МІС прогнозування ймовірності виникнення реоперацій представлена на рис. 1.

Для реалізації етапу моделювання виникнення реоперації ВТПШ був проведений аналіз наявних клінічних та інструментальних ознак хворих та створено структуру класифікатора (математичної моделі), що найкращим чином дає можливість розділити пацієнтів на два класи: діти, яким не проводилась повторна операція («умовно здорові») та діти, яким було повторно проведено операцію ВТПШ («повторно оперовані»).

Отримана математична модель МГУА:

$$\begin{aligned}
 y = & -0,1572 + 0,0429 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,0152 \cdot x_3 \cdot x_4 + \\
 & + 0,1064 \cdot x_5 \cdot x_4 - 0,5238 \cdot x_6 + 0,2812 \cdot x_2 \cdot x_7 + \\
 & + 0,3502 \cdot x_2 \cdot x_8 + 1,0043 \cdot x_9 - 0,0235 \cdot x_{10} \cdot x_{11} + \\
 & + 0,1578 \cdot x_6 \cdot x_4 - 0,2383 \cdot x_{11} \cdot x_{12} + 0,9068 \cdot x_{13} \cdot x_{14} - \\
 & - 0,0259 \cdot x_5^2 - 0,0104 \cdot x_{15} \cdot x_2 - 0,4722 \cdot x_6 \cdot x_7 - \\
 & - 0,2436 \cdot x_3 \cdot x_7 - 0,0466 \cdot x_{11} \cdot x_8 + 0,0392 \cdot x_1 \cdot x_{16} + \\
 & + 9,5251 \cdot 10^{-5} \cdot x_{15}^2 - 0,007 \cdot x_{15} \cdot x_{16} - 0,0005 \cdot x_{15} \cdot x_1 + \\
 & + 0,3865 \cdot x_{14} \cdot x_7 - 0,0083 \cdot x_1 \cdot x_7 + 0,0119 \cdot x_{15} \cdot x_{14} - \\
 & - 0,0423 \cdot x_1 \cdot x_{14} - 0,3023 \cdot x_5 \cdot x_{17}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$



Рис. 1. Структура медичної інформаційної системи прогнозування ймовірності виникнення реоперацій

де x_1 — вага пацієнта (кг); x_2 — вроджена патологія серця; x_3 — проведення аортальної вальвулопластики; x_4 — кількість стулок АК на ехокардіограмі; x_5 — степінь кальцинозу АК; x_6 — доопераційна інотропна підтримка; x_7 використання протезу Gore-Tex; x_8 — реоперація АК; x_9 — ДМШП; x_{10} — ППТ (m^2); x_{11} — градієнт тиску на ЛА (мм.рт.ст.); x_{12} — серцева блокада; x_{13} — інфекційний ендокардит; x_{14} ДКА; x_{15} — вік пацієнта (місяці); x_{16} — виявлена кількість стулок АК при операції; x_{17} — використання протезу InterGard.

Результати застосування класифікатора до навчальної, екзаменаційної та тестової вибірок для класифікації дітей з класу 1 — «умовно здорових» та дітей з класу 2, яким було повторно проведено операцію ВТПШ представлені в таблиці 1:

Таблиця 1

Характеристика отриманого класифікатора для оцінки ймовірності проведення реоперації ВТПШ

Вибірка	% правильно класифікованих спостережень	Чутливість моделі для дітей з класу 1	Чутливість моделі для дітей з класу 2
Навчальна	86,7	0,883	0,827
Екзаменаційна	83,8	0,868	0,762
Тестова	87,5	0,867	0,900

Точність правильно відібраних значень до загальної кількості відібраних алгоритмом для навчальної вибірки становить 0,867, для екзаменаційної — 0,838, для тестової — 0,875.

Отримані ROC-криві, що дозволили оцінити предикторну цінність отриманого класифікатора МГУА, зображені на рис. 2. Значення площі для навчальної вибірки дорівнює 0,959, для екзаменаційної — 0,947 та для тестової — 0,957, що свідчать про відмінну якість отриманої моделі.

Під час моделювання виникнення реоперації АК було отримано математичну модель МГУА, що дозволяє класифікувати дітей до класу 1 — «умовно здорових» та класу 2, яким було повторно проведено операцію АК:

$$\begin{aligned}
 y = & 0,2066 + 0,0061 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,002 \cdot x_3 \cdot x_4 - \\
 & -7,1565 \cdot x_5 \cdot \frac{1}{x_6} + 0,0136 \cdot x_7 \cdot x_2 - 0,3238 \cdot x_5 \cdot x_2 + \\
 & + 0,3107 \cdot \frac{1}{x_4} - 0,0205 \cdot x_3 \cdot x_8 + 37,8203 \cdot \frac{1}{x_6} \cdot x_8 - \\
 & -4,1966 \cdot 10^{-5} \cdot x_9 \cdot x_4 + 0,0051 \cdot x_{10} \cdot x_4 - \\
 & -0,015 \cdot x_3 \cdot x_{11} - 44,2603 \cdot \frac{1}{x_6} \cdot x_{12} - \\
 & -0,3156 \cdot x_{13} \cdot x_2 - 0,0004 \cdot x_6 \cdot x_2 - 31,5121 \cdot \frac{1}{x_9} \cdot x_{11}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

де x_1 — діаметр клапана легеневої аорти; x_2 використання власних тканин при протезуванні; x_3 — діаметр АК; x_4 — розмір міжшлуночкової перегородки (мм); x_5 — стадія фіброзу; x_6 — перфузія;

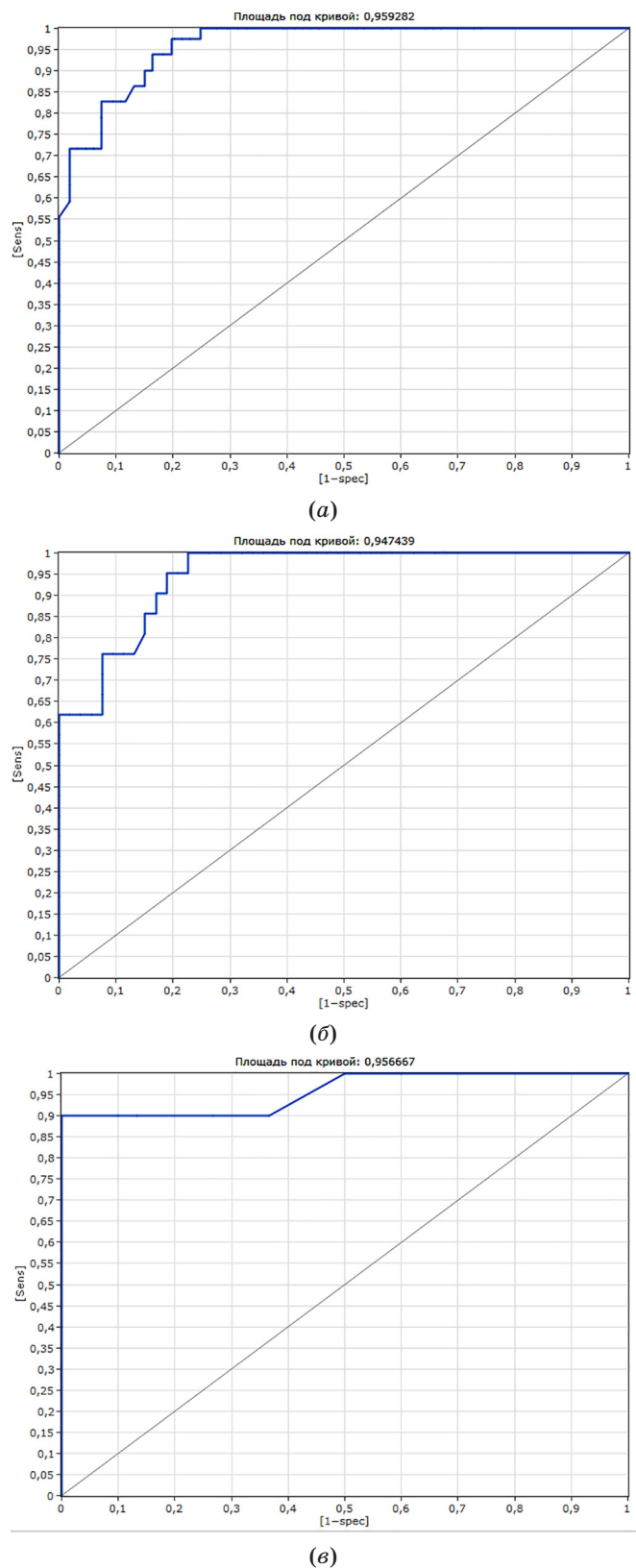


Рис. 2. ROC-криві для навчальної (а), екзаменаційної (б) та тестової вибірок (е)

x_7 — вага пацієнта (кг); x_8 використання дворядного шва; x_9 — тривалість операції; x_{10} — проведення реоперації ВТПШ; x_{11} — використання протезу Starr-Edwards; x_{12} — використання синтетичних тканин при протезуванні; x_{13} — зміцнення некоронарної стулки.

Результати застосування моделі до навчальної, екзаменаційної та тестової вибірок для класифікації дітей з класу 1 — «умовно здорових» та дітей з класу 2, яким було проведено реоперацію АК відображено в таблиці 2:

Таблиця 2

Характеристика отриманого класифікатора для оцінки ймовірності проведення реоперації АК

Вибірка	% правильно класифікованих спостережень	Чутливість моделі для дітей з класу 1	Чутливість моделі для дітей з класу 2
Навчальна	95,6	0,954	1,000
Екзаменаційна	94,6	0,944	1,000
Тестова	90,0	0,879	1,000

Точність правильно відібраних значень для навчальної вибірки становить 0,956, для екзаменаційної — 0,946, для тестової — 0,900.

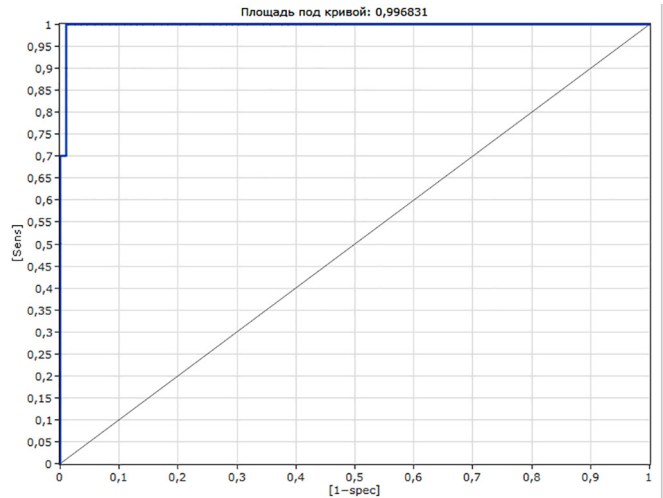
ROC-криві для даного класифікатора зображені на рис. 3. Площа для навчальної вибірки склала 0,997, для екзаменаційної — 0,995, для тестової — 0,965. Отримані високі показники вказують на відмінну якість отриманої математичної моделі.

Отримані точності розрахованих математичних моделей (1) та (2), для кожної з трьох вибірок, вказують на їх ефективність використання як складової медичної інформаційної системи підтримки прийняття рішень лікарем-кардіологом з метою проведення усіх необхідних заходів у передопераційний, операційний та післяопераційний період для попередження випадків реоперацій ВТПШ та АК.

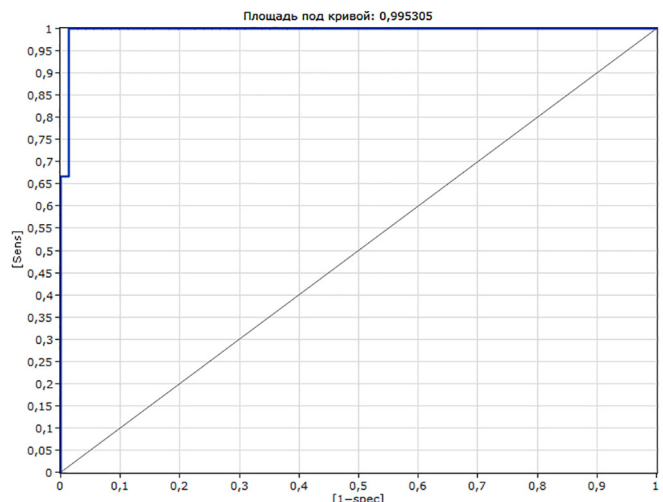
Висновки. Запропонована медична інформаційна система об'єднує в собі основні етапи контролю перебігу порушень аортального клапана та обструкції висхідного тракту правого шлуночка серед дітей — від первинного звернення до лікаря та фіксації клінічних та інструментальних показників в доопераційний період до проведення хірургічного лікування та контролю стану пацієнта в післяопераційний період.

Розроблені математичні моделі для оцінки ймовірності проведення реоперацій аортального клапана та висхідного тракту правого шлуночка мають досить високу точність, що дозволяє їх використання як складових розробленої інформаційної системи в клінічній практиці. Це підвищить якість проведення доопераційних, операційних та післяопераційних заходів, що сприятимуть кращому протіканню післяопераційного періоду та скорішого покращення

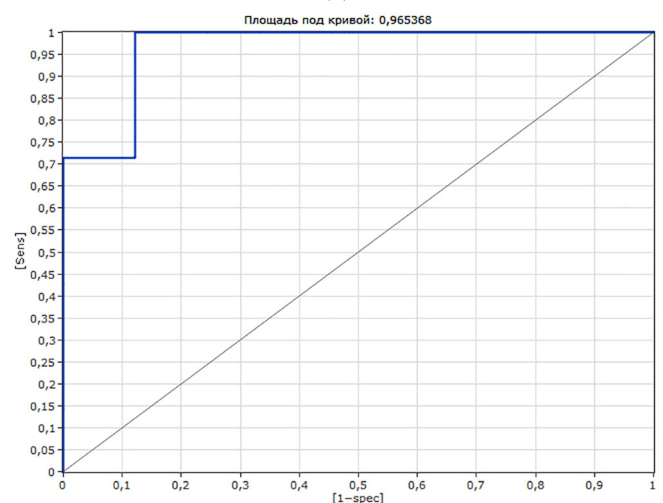
стану дітей без проведення не запланованих повторних хірургічних втручань.



(а)



(б)



(в)

Рис. 3. ROC-криві для навчальної (а), екзаменаційної (б) та тестової вибірок (в)

Література

1. Клінічні системи підтримки прийняття рішень. Засоби прогнозування. Моделювання системи підтримки прийняття рішень [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://studfiles.net/preview/2283504/>
2. С. А. Фейламазова. Информационные технологии в медицине: Учебное пособие для медицинских колледжей. — Махачкала: ДБМК, 2016. — 163 с.
3. Логістична регресія і ROC-аналіз — математичний апарат [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://basegroup.ru/community/articles/logistic>
4. Методы статистической обработки медицинских данных: Методические рекомендации для ординаторов и аспирантов медицинских учебных заведений, научных работников / сост.: А. Г. Кочетов, О. В. Лянг., В. П. Масенко, И. В. Жиров, С. Н. Наконечников, С. Н. Терещенко — М.: РКНПК, 2012. — 42 с.
5. Pepe S. M. The Statistical Evaluation of Medical Tests for Classification and Prediction / Sullivan Margaret Pepe. — England: Oxford University Press, 2004. — 302 p.