

УДК 004.8

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.6>

**Богдана КАЛІНОВСЬКА**

студент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», проспект Перемоги, 37, Київ, Україна, індекс 03056 (bohdana\_kalinovska@ukr.net)

ORCID: 0000-0002-9443-1762

**Олена НОСОВЕЦЬ**

кандидат технічних наук, доцент кафедри біомедичної кібернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», проспект Перемоги, 37, Київ, Україна, індекс 03056 (o.nosovets@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-1288-3528

**Людмила ДОБРОВСЬКА**

кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри біомедичної кібернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», проспект Перемоги, 37, Київ, Україна, індекс 03056 (dobrovska.liudmyla@lil.kpi.ua)

ORCID: 0000-0002-4055-6834

**Bohdana KALINOVSKA**

Student, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, postal code 03056 (bohdana\_kalinovska@ukr.net)

**Olena NOSOVETS**

Ph.D., Associate Professor at Biomedical Cybernetics Department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, postal code 03056 (o.nosovets@gmail.com)

**Liudmyla DOBROVSKA**

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor at Biomedical Cybernetics Department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, postal code 03056 (dobrovska.liudmyla@lil.kpi.ua)

**Бібліографічний опис статті:** Каліновська, Б., Носовець, О., Добровська, Л. (2022). Програмний застосунок для оцінки кардіологічних патологій після оперативних втручань. *Інформаційні технології та суспільство*, 2 (4), 42–48. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.6>

**Bibliographic description of the article:** Kalinovska, B., Nosovets, O., Dobrovska, L. (2022). Prohramnyi zastosunok dlia otsinky kardiologichnykh patolohii pislia operatyvnykh vtruchan [Software application for the assessment of cardiac pathologies after surgery]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information technology and society*, 2 (4), 42–48. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.6>

**ПРОГРАМНИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ОЦІНКИ КАРДІОЛОГІЧНИХ ПАТОЛОГІЙ ПІСЛЯ ОПЕРАТИВНИХ ВТРУЧАНЬ**

Дана стаття присвячена питанню кардіологічних патологій, які щодня вбивають тисячі новонароджених дітей. Коарктація аорти та гіпоплазія дуги аорти є одними з найпоширеніших захворювань серцево-судинної системи та трапляються у кожного другого з шести на тисячу народжених, це становить 4–8 % від усіх серцево-судинних хвороб, і займає четверте місце за частотою, що є жакливим показником, адже рівень летальності даних захворювань сягає більше 90 %. На сьогоднішній день лікарі звідуєть намагаються зменшити ці страшні цифри за допомогою вибору ідеального методу для проведення операції, проте, на шляху виконання поставленої цілі, лікарям, безумовно, необхідний програмний застосунок, що допомагав би їм відслідковувати позитивну або негативну динаміку після хірургічного втручання за допомогою прогнозованих ультразвукових показників. **Метою статті** є створення програмного додатку з зручним інтерфейсом та багатим функціоналом для оцінки стану пацієнтів в динаміці, що стане зручним та корисним для лікарів. Реалізація поставленої мети передбачає використання **методології** методу групового урахування аргументів для побудови моделей за допомогою яких буде здійснюватись

прогнозування, та мови програмування R, а саме, фреймворку Shiny для реалізації програмного додатку та використання в ньому отриманих моделей. **Наукова новизна.** На даний момент часу немає існуючих аналогів даному програмному додатку з функцією прогнозування, та спостереження прогресу в динаміці. **Висновки.** За допомогою клінічних даних наданих в «Національному інституті серцево-судинної хірургії імені М. М. Амосова» було побудовано моделі для прогнозування ультразвукових показників та було реалізовано програмний додаток за допомогою якого лікар може спостерігати облік пацієнтів в зручній табличній формі, редагувати клінічні дані відправляти листи пацієнтові, та прогнозувати параметри у віддаленому періоді, що значно спрощує роботу з даними та покращує комунікацію між пацієнтом та лікарем.

**Ключові слова:** коарктація аорти, гіпоплазія дуги аорти, прогнозування, ехокардіографія, ультразвукове дослідження.

## SOFTWARE APPLICATION FOR THE ASSESSMENT OF CARDIAC PATHOLOGIES AFTER SURGERY

This article is devoted to the issue of cardiac pathologies that kill thousands of newborns every day. Aortic coarctation and aortic arch hypoplasia are among the most common diseases of the cardiovascular system and occur in every second in six per thousand births, accounting for 4–8 % of all cardiovascular disease, and is the fourth most common, which is a terrible figure., because the mortality rate of these diseases reaches more than 90 %. Today, doctors everywhere are trying to reduce these scary numbers by choosing the ideal method for surgery, however, in order to achieve this goal, doctors certainly need software that will help them monitor the positive or negative dynamics after surgery with the help of predicted ultrasound indicators. **The aim** of the article is to create a software application with a user-friendly interface and rich functionality to assess the state of patients in the dynamics, which will be convenient and useful for doctors. The realization of this goal involves the use of the **methodology** of the method of group accounting arguments to build models that will be used to predict, and programming languages R, namely, the Shiny framework for implementing the software application and using the resulting models. **Scientific novelty.** At the moment there are no existing analogues of this software application with the function of forecasting and monitoring progress in dynamics. **Conclusions.** With the help of clinical data provided by the “Amosov National Institute of Cardiovascular Surgery” models for ultrasound prediction were built and a software application was implemented with which the doctor can monitor patient records in a convenient tabular form, edit clinical data, send letters to the patient, and predict parameters in the remote period, which greatly simplifies data handling and improves communication between the patient and the doctor.

**Key words:** aortic coarctation, aortic arch hypoplasia, prognosis, echocardiography, ultrasound.

**Постановка проблеми.** На сьогодні, кардіологічні паталогії є однією з головних причин смертності новонароджених дітей [1]. Чималий внесок в цю страшну статистику внесли коарктація аорти та гіпоплазія дуги аорти. Аналізуючи різні джерела, можна помітити, що у 45–85 % випадків коарктація аорти поєднується з гіпоплазією дуги аорти, а новонароджені з таким діагнозом потребують негайної хірургічної операції, адже рівень летальності становить більше 90 % впродовж першого місяця життя [2].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Так, як дана проблема є дуже актуальною, вчені зі всього світу намагаються вирішити питання великої смертності дітей різними шляхами, наприклад шукаючи ідеальний метод хірургічного лікування даних паталогій. Так група вчених з Royal Children's Hospital, Melbourne своєму довгостроковому спостереженні виявили, що техніка «кінець у бік», виконана із серединного доступу, може бути запропонована більшості пацієнтів з гіпоплазією дуги аорти [3]. Показання до оперативного лікування в даний час певною мірою чітко визначені, однак питання вибору методу хірургічного втручання залишається відкритим [4].

Також наявність безлічі методик визначення гіпоплазії дуги аорти, зумовило необхідність оцінки прогностичної цінності загальноприйнятих правил. Більшість дотримується думки, що, для визначення ступеня гіпоплазії та постановки діагнозу «Гіпоплазія дуги аорти» оптимальним діагностичним критерієм можна вважати показник Z-score. Вчені вважають, що питання про «ідеальну» техніку хірургічного лікування у дітей гіпоплазії дуги аорти залишається відкритим [5], а необхідність додатка для оцінки таких пацієнтів в динаміці набуває більшої актуальності.

**Метою дослідження** є створення програмного додатку з зручним інтерфейсом та обширним функціоналом для оцінки стану пацієнтів в динаміці, який допоможе відслідковувати прогрес ультразвукових показників після хірургічного втручання.

**Виклад основного матеріалу.** Коарктація аорти (КоА) – це вроджене сегментарне звуження аорти, яке може локалізуватися на будь-якій ділянці в області дуги, перешийка, нижнього грудного або черевного відділів [6]. Сегментарне звуження аорти часто поєднується з гіпоплазією дистальної частини або всієї дуги аорти, з поширеністю у дітей до 70 % [7]. Частота коарктації аорти становить від 0,2 до 0,6 на 1000 живих новороджених, та складає від 5 % до 8 % від загального числа всіх вроджених пороків серця [8].

До основних факторів розвитку цих ускладнень багато авторів відносять порушення еластично-колагенового каркаса: патологію гладких міоцитів, велике вміст колагену і знижене кількість еластина [9]. Також доведений тератогенний вплив на плід алкоголю, вальпроевої кислоти, гідантоїну

з подальшим формуванням коарктація аорти. Найбільш інформативним методом виявлення КоА та гіпплазії дуги аорти є двовимірна ехокардіографія (ЕхоКГ). Метод є найбільш чутливим та специфічним для дітей з невеликою або помірною обструкцією перешийка аорти, підтверджуючи та характеризуючи паталогію, даючи її зображення та оцінку гемодинамічного градієнта за допомогою сигналів потоку Doppler. Чутливість методу становить 95 %, а специфічність сягає 99 % [10].

**Аналіз клінічних даних.** Клінічні дані на основі яких було здійснено моделювання складаються з 445 пацієнтів до 1 року життя. База даних формувалась в «Національному інституті серцево-судинної хірургії імені М. М. Амосова» з 2011 по 2019 роки. Дані формувалися на дітях, яким було здійснено хірургічне лікування гіпплазії дуги аорти. Статистичний аналіз даної бази даних говорить про те, що більшу частину пацієнтів склали новонароджені хлопчики, а саме 62,8 %. Невелика частина пацієнтів, а саме 11,10 % були народженими на 33–35 тижні життя, а отже є недоношеними. Під час обстеження було виявлено, що 14 % новонароджених мають затримку в розвитку. Медіана віку пацієнтів складає 0,7 місяців, медіана ваги – 3,7 кг, площі поверхні тіла – 0,23 м<sup>2</sup>. Деякі пацієнти за результатами дослідження мали гіпплазію одночасно декількох сегментів дуги. До та після операції усім дітям було робили ЕхоКГ, зазначали показники кожного сегмента дуги аорти, z-score для кожного сегмента дуги аорти, градієнт систолічного тиску та фракцію викиду.

**Математичне моделювання.** В результаті моделювання за допомогою методу групового урахування аргументів було отримано 8 прогнозованих моделей для кожного показника ультразвукового дослідження. Під час моделювання використовувались такі параметри:

- 1) Gender – стать;
- 2) Age(month) – вік в місяцях;
- 3) Gradient – градієнт;
- 4) Duration – Тривалість операції;
- 5) Ventilation – ШВЛ (години) після операції;
- 6) Methods – Методика реконструкції;
- 7) FV – Фракція викиду;
- 8) segm (Asegm, Bsegm, Csegm) – сегменти (A, B, C – відповідно);
- 9) Z (Z-A, Z-B, Z-C) – Z-score для сегментів (A, B, C – відповідно);

Для прикладу можна розглянути моделі для прогнозування сегментів, а саме:  $A_{\text{segm\_after}}$ ,  $B_{\text{segm\_after}}$ ,  $C_{\text{segm\_after}}$ .

$$\begin{aligned}
 A_{\text{segm\_after}} &= 6.13394 + \text{Gender} * (-0.0304) + \text{Gender} * (Z - B_{\text{before}}) \\
 &* (-0.092) + \text{Duration} * (-0.0099) + \text{Duration} * \text{Ventilation} * 3.53e - 05 + \\
 &+ \text{Duration} * \text{Methods} * (-0.0017) + \text{Duration}^2 * 2.06e - 05 + \text{Ventilation} * \\
 &* B_{\text{segm\_before}} * (-0.0032) + \text{Gradient}_{\text{before}} * (Z - B_{\text{before}}) * 0.0085 + \\
 &+ \text{Gradient}_{\text{before}} * \text{FV}_{\text{before}} * (-0.00022) + (A_{\text{segm\_before}}) * 0.933046 + \\
 &+ (A_{\text{segm\_before}}) * (Z - B_{\text{before}}) * (-0.13902) + (Z - A_{\text{before}})^2 * 0.0179988 + \\
 &+ B_{\text{segm\_before}} * (Z - B_{\text{before}}) * (-0.13578) + (Z - C_{\text{before}}) * \text{FV}_{\text{before}} * \\
 &* (Z - B_{\text{before}}) * 0.00613 + (Z - C_{\text{before}})^2 * (-0.06013); \\
 B_{\text{segm\_after}} &= 5.26926 + \text{Gender} * \text{Weight} * (-0.165755) + \text{Gender} * \\
 &* \text{Ventilation} * 0.00598 + \text{Gender} * B_{\text{segm\_before}} * 0.0749 + \text{Gender} * \\
 &* \text{BSA} * 0.012754 + \text{Weight} * B_{\text{segm\_before}} * 0.039 + \text{Ventilation} * \\
 &* \text{BSA} * 0.012754 + \text{Weight} * B_{\text{segm\_before}} * 0.039 + \text{Ventilation} * \\
 &* (Z - C_{\text{before}}) * (-0.0024) + \text{Gradient}_{\text{before}} * (Z - A_{\text{before}}) * 0.00145 + \\
 &+ B_{\text{segm\_before}} * (Z - B_{\text{before}}) * (-0.291) + (Z - B_{\text{before}}) * 1.62 + \\
 &+ (Z - B_{\text{before}})^2 * (-0.131538) + (Z - C_{\text{before}})^2 * 0.00353066; \\
 C_{\text{segm\_after}} &= 5.59 + \text{Gender} * 2.45128 + \text{Gender} * \text{FV}_{\text{before}} * (-0.040) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+Weight*BSA*0.016715+Weight*Duration*(-0.00075)+Weight* \\
 &*(Asegm_{before})*0.236483+Weight*Bsegm_{before}*(-0.024)+Weight* \\
 &*FV_{before}*(-0.00492598)+Duration*(Asegm_{before})*0.0013+ \\
 &+Ventilation*(Asegm_{before})*(-0.0001)+Gradient_{before}*Csegm_{before}* \\
 &*(-0.0019)+Gradient_{before}*(Z-C_{(-)})*0.0077+(Asegm_{before}) \\
 &*(Z-A_{(-)})*0.192111+(Asegm_{before})*Csegm_{before}*(-0.247)+ \\
 &*Methods*(-0.1)+Csegm_{before}^2*0.1+(Z-C_{(-)})*FV_{before}*(-0.01)+ \\
 &*Methods*(-0.1)+Csegm_{before}^2*0.1+(Z-C_{(-)})*FV_{before}*(-0.01)+ \\
 &+FV_{before}*Methods*0.045+FV_{before}^2*0.00026+Methods*(-1.96);
 \end{aligned}$$

Продемонструємо також таблиці з точністю для кожної з цих моделей (рис. 1–3).

Вихідна змінна: "A segm_after"			
Результати заключної обробки	Навчання	Екзамен	Тест
Число спостережень	311	89	45
Макс. від'ємне відхилення	-3,32659	-2,37054	-2,25369
Макс. додатне відхилення	2,95317	17,6793	19,56324
Середній модуль помилки (MAE)	0,13426	0,15472	0,172562
Середньоквадратичне відхилення (RMSE)	0,162573	0,20782	0,222513
Сума відхилень	1,3658E-12	0,81472	0,942365
Стандартне відхилення залишків	0,13751	0,15426	0,175462
Коефіцієнт детермінації (R <sup>2</sup> )	0,89124	0,85147	0,824723
Кореляція	0,90012	0,88692	0,852613

Рис. 1. Точність для прогнозованої змінної A segm\_after

Вихідна змінна: "B segm_after"			
Результати заключної обробки	Навчання	Екзамен	Тест
Число спостережень	307	77	61
Макс. від'ємне відхилення	-3,29889	-4,0733	-6,57821
Макс. додатне відхилення	2,70797	3,94304	5,247513
Середній модуль помилки (MAE)	0,13154	0,14752	0,175123
Середньоквадратичне відхилення (RMSE)	0,18472	0,20571	0,235778
Сума відхилень	1,8561E-12	0,77452	0,842132
Стандартне відхилення залишків	0,18741	0,20781	0,234755
Коефіцієнт детермінації (R <sup>2</sup> )	0,86547	0,84472	0,805513
Кореляція	0,87482	0,84851	0,825473

Рис. 2. Точність для прогнозованої змінної B segm\_after

Вихідна змінна: "C segm_after"			
Результати заключної обробки	Навчання	Екзамен	Тест
Число спостережень	302	82	61
Макс. від'ємне відхилення	-6,22382	-2,58183	-2,23578
Макс. додатне відхилення	3,96631	2,63611	2,257861
Середній модуль помилки (MAE)	0,14571	0,15472	0,168752
Середньоквадратичне відхилення (RMSE)	0,17852	0,18324	0,205234
Сума відхилень	1,8457E-12	0,95823	0,994751
Стандартне відхилення залишків	0,17159	0,18152	0,265822
Коефіцієнт детермінації (R <sup>2</sup> )	0,87582	0,85473	0,854234
Кореляція	0,88513	0,86587	0,825423

Рис. 3. Точність для прогнозованої змінної C segm\_after

Як бачимо середній модуль помилки MAE в цих моделях коливається від 0,168 до 0,175, середньо-квадратичне відхилення RMSE від 0,205 до 0,235 – на тестових наборах даних, що є хорошим результатом в обох випадках адже чим меншою є MAE та RMSE, тим кращим вважають прогноз. Також варто звернути увагу на коефіцієнт детермінації та кореляції, які в межах від 0,806 до 0,854 та 0,825 до 0,852 відповідно, що також є хорошим результатом, адже обидва показники показують найкращий прогноз, коли є рівними 1.

**Розробка програмного забезпечення.** За допомогою мови програмування R, та фреймворку Shiny був реалізований програмний додаток для оцінки стану пацієнтів в динаміці, за допомогою якого можна відслідковувати прогрес ультразвукових показників після операції. Для унеможливлення незаконного доступу до додатка було створено форму логіну та паролю з обов'язковою функцією реєстрації та відновлення паролю. На головній вкладці додатку – загальні дані пацієнта представлені в зручній табличній формі, де кожен рядок відповідає одному конкретному пацієнтові, наявна функції пошуку, додавання та видалення, пацієнта.

Full-name	Gender	Birthdate	Weight (kg)	BSA (m <sup>2</sup> )	Diagnosis	Action
Smith Emma Gabriel	Woman	2021-11-07	7.6	0.35	Aortic coarctation, Isthmus hypoplasia.	
Caren Samuel Bill	Man	2021-12-23	7.1	0.34	CoAo hypoplasia of the Isthmus of the arch Ao	
Eric Fred Chris	Man	2022-02-08	5.7	0.29	Critical coarctation of the aorta, hypoplasia of the arch and Isthmus.	
Taylor Sharon Deborah	Woman	2021-12-31	6.8	0.32	CoAo hypoplasia of the Isthmus of the arch Ao	
Brown Tom Steve	Woman	2022-02-22	6.4	0.31	Hypoplastic AoArch	
Hiram Jenna Lora	Woman	2021-09-15	8	0.37	Hypoplasia of the Isthmus of the aortic arch, Open oval window.	

Рис. 4. Вкладка з загальними даними пацієнтів

Для кожного пацієнта наявні додаткові кнопки додавання загальних УЗД параметрів, додавання операційних даних, та функція листування з пацієнтом, яка значно спрощує комунікацію між лікарем та хворим.

При наявності УЗД даних та операційних даних, ми можемо розрахувати наші моделі на вкладці з УЗД параметрами за допомогою кнопки “Count the models”, та отримати прогнозовані дані.

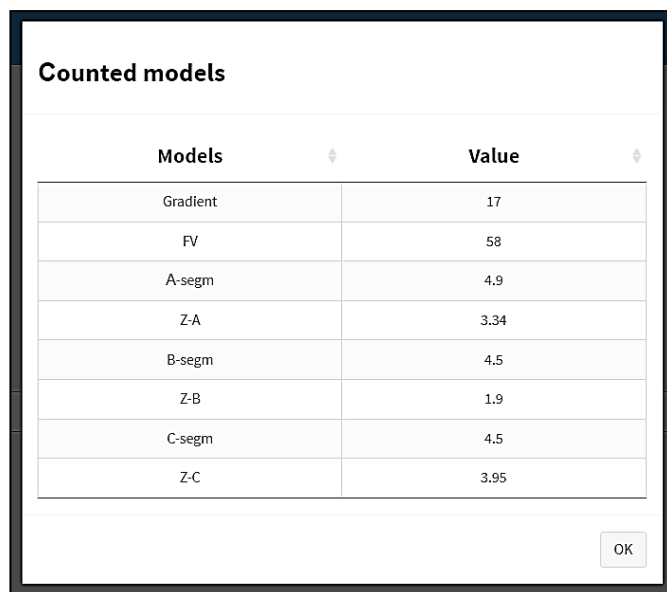
Date	Gradient	FV	A-segm	Z-A	B-segm	Z-B	C-segm	Z-C
2022-01-21	49	59	1.6	7.51	4.4	2.96	4.3	4.17

Рис. 5. Вкладка з ультразвуковими даними

**Висновки.** На основі бази даних отриманої в результаті клінічних випробувань в «Національному інституті серцево-судинної хірургії імені М. М. Амосова» сформованої з 2011 по 2019, було проаналізовано 445 пацієнтів до 1 року життя та на їх основі за допомогою методу групового угруповання аргументів було побудовано 8 моделей, які дозволяють спрогнозувати показники УЗД у віддаленому періоді на основі доопераційних показників з високою точністю, коефіцієнт детермінації всіх моделей коливався в межах від 0,806 до 0,854 на тестовому наборі даних. Реалізовано програмний додаток за



допомогою фреймворку Shiny на мові програмування R, в якому наявні функції обліку пацієнтів з можливістю редагування клінічних даних, відправкою листів від лікаря до пацієнта та з можливістю прогнозування УЗД показників у віддаленому періоді.



Models	Value
Gradient	17
FV	58
A-segm	4.9
Z-A	3.34
B-segm	4.5
Z-B	1.9
C-segm	4.5
Z-C	3.95

Рис. 6. Прогнозовані показники

#### Список використаних джерел:

1. Сухарева Г.Э. Алгоритм диспансеризации детей с коарктацией аорты. *Практическая медицина*. 2019. № 2. С. 105–110.
2. Amanda J. S., Richard F. I., Bradley S. M. Aortic morphometry and microcephaly in hypoplastic left heart syndrome. *Cardiology in the Young*. 2007. № 17. С. 189–195.
3. Синельников Ю. С., Кшановская М. С., Горбатовых А. В., Иванцов С. М., Прохорова Д. С. Гипоплазия дуги аорты. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2013. № 3. С. 68–72.
4. Тимошок В. Л., Дедович В. В., Дроздовская В. В., Дроздовский К. В. Отдаленные результаты лечения коарктации аорты с гипоплазией дуги и перешейка у детей до 1 года. *Научные стремления*. № 20. С. 86–87.
5. Синельников Ю. С., Гасанов Э. Н., Сойнов И. А., Мирзазаде Ф. А. Диагностика коарктации с гипоплазией дуги аорты. *Биомедицина*. 2016. № 1. С. 4–10.
6. Ялинская Т. А. Коарктация аорты: магнитно-резонансная томография на до- и послеоперационном этапе. *Клиническая анатомия та оперативна хірургія*. 2013. № 3. С. 54–58.
7. Сойнов И. А., Синельников Ю. С., Горбатовых А. В., Ничай Н. Р. Артериальная гипертензия у пациентов после коррекции коарктации и гипоплазии дуги аорты. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2015. № 2. С. 102–112.
8. Сойнов И. А., Синельников Ю. С., Омельченко А. Ю. Эластические свойства аорты у пациентов после различных вариантов коррекции коарктации аорты: результаты проспективного когортного исследования. *Артериальная Гипертензия*. 2016. № 22. С. 466–475.
9. Сойнов И. А., Синельников Ю. С., Кливер Е. Э. Морфологические особенности брахиоцефальных артерий у пациентов с гипоплазией дуги аорты. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2015. № 4. С. 14–18.
10. Ильинов В. Н., Кривошеков Е. В., Шипулин В. М. Хирургическое лечение коарктации аорты в сочетании с гипоплазией дуги. *Сибирский медицинский журнал*. 2014. № 3. С. 80–86.

#### References:

1. Sukhareva, H. E. (2019). Algorithm dispanserizatsii detey s koarktatsiey aortyi [Algorithm for clinical examination of children with coarctation of the aorta]. *Prakticheskaya meditsina – Practical Medicine*, 2, 105–110. [in Russian]
2. Amanda, J. S., Richard, F. I., Bradley, S. M. (2007). Aortic morphometry and microcephaly in hypoplastic left heart syndrome. *Cardiology in the Young*, 17, 189–195. [in English]
3. Synelnykov, Yu. S., Kshanovskaia, M. S., Horbatykh, A. V., Yvantsov, S. M., Prokhorova, D. S. (2013). Gipoplaziya dugi aortyi [Hypoplasia of the aortic arch]. *Patologiya krovoobrascheniya i kardiohirurgiya – Circulatory pathology and cardiac surgery*, 3, 68–72. [in Russian]
4. Timoshok, V. L., Dedovich, V. V., Drozdovskaya, V. V., Drozdovskiy, K. V. Otdalennyye rezultaty lecheniya koarktatsii aortyi s gipoplaziey dugi i peresheyka u detey do 1 goda [Long-term results of treatment of coarctation of the aorta with hypoplasia of the arch and isthmus in children under 1 year of age]. *Nauchnyie stremleniya – Scientific aspirations*, 20, 86–87. [in Russian]

5. Sinelnikov Yu.S., Gasanov E. N., Soynov I. A., Mirzazade F. A. (2016). Diagnostika koarktatsii s gipoplaziey dugi aortyi [Diagnosis of coarctation with hypoplasia of the aortic arch]. *Biomeditsina – Biomedicine*, 1, 4-10. [in Russian].
6. Yalynskaia, T. A. (2013). Koarktatsiia aorty: mahnitno-rezonansna tomohrafiia na do- i pisliaoperatsiinomu etapi [Aortic coarctation: magnetic resonance imaging in the pre- and postoperative stages]. *Klinichna anatomii ta operatyvna khirurhiia – Clinical anatomy and operative surgery*, 3, 54–58. [in Ukrainian]
7. Soynov, I. A., Sinelnikov, Yu. S., Gorbatiy, A. V., Nichay, N. R. (2015). Arterialnaya gipertenziya u patsientov posle korrektsii koarktatsii i gipoplazii dugi aortyi [Arterial hypertension in patients after correction of coarctation and hypoplasia of the aortic arch]. *Patologiya krovoobrascheniya i kardiohirurgiya – Circulatory pathology and cardiac surgery*, 2, 102–112. [in Russian]
8. Soynov, I. A., Sinelnikov, Yu. S., Omelchenko, A. Yu. (2016). Elasticheskie svoystva aortyi u patsientov posle razlichnykh variantov korrektsii koarktatsii aortyi: rezultaty prospektivnogo kogortnogo issledovaniya [Elastic properties of the aorta in patients after various options for correcting aortic coarctation: results of a prospective cohort study]. *Arterialnaya Gipertenziya – Arterial hypertension*, 22, 466–475. [in Russian]
9. Soynov, I. A., Sinelnikov, Yu. S., Kliver, E. E. (2015). Morfologicheskie osobennosti brahiotsefalnykh arteriy u patsientov s gipoplaziey dugi aortyi [Morphological features of brachiocephalic arteries in patients with aortic arch hypoplasia]. *Patologiya krovoobrascheniya i kardiohirurgiya – Circulatory pathology and cardiac surgery*, 4, 14–18. [in Russian]
10. Ilinov, V. N., Krivoschekov, E. V., Shipulin, V. M. (2014). Hirurgicheskoe lechenie koarktatsii aortyi v sochetaniis gipoplaziey dugi [Surgical treatment of aortic coarctation in combination with arch hypoplasia]. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal – Siberian medical journal*, 3, 80–86. [in Russian]