

Комп'ютерні науки

УДК 519.226.616.112-07

**Шевага Діана Олександрівна**

*студентка*

*Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Шевага Диана Александровна**

*студентка*

*Национального технического университета Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Shevaha Diana**

*Student of the*

*National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**Рисін Сергій Валентинович**

*старший викладач*

*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;  
Національний інститут серцево-судинної хірургії імені М.М. Амосова  
Національної академії медичних наук України*

**Рысин Сергей Валентинович**

*старший преподаватель*

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»;  
Национальный институт сердечно-сосудистой хирургии имени Н.Н. Амосова  
Национальной академии медицинских наук Украины*

**Rysin Serhii**

*Senior Lecturer*

*National Technical University of Ukraine*

*«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»;*

*National M. Amosov Institute of Cardio-Vascular Surgery Affiliated to*

*National Academy of Medical Sciences of Ukraine*

**ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ЛОГІСТИЧНОЇ РЕГРЕСІЇ ЗА  
ЯСКРАВІСТНИМИ ТА ГЕОМЕТРИЧНИМИ  
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЗОБРАЖЕНЬ СПЕКЛ-ТРЕКІНГ  
ЕХОКАРДІОГРАФІЇ  
ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ РЕГРЕССИИ ПО  
ЯРКОСТНЫМ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ СПЕКЛ-ТРЕКИНГ ЭХОКАРДИОГРАФИИ  
BUILDING OF LOGISTIC REGRESSION MODELS BASED ON  
BRIGHTNESS AND GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF SPECKLE-  
TRACKING ECHOCARDIOGRAPHY IMAGES**

*Анотація.* В роботі розглянуто побудову моделей логістичної регресії для знаходження ознак порушення нормальної роботи серця на підставі яскравості і геометричних характеристик зображень спекл-трекінг ехокардіографії з використанням в якості референтних значень висновків сегментної моделі серця.

**Ключові слова:** спекл-трекінг ехокардіографія, добутамін, сегментна модель серця, комп'ютерний аналіз зображень, комп'ютерна обробка зображень.

*Аннотация.* В работе рассмотрено построение моделей логистической регрессии для нахождения признаков нарушения нормальной работы сердца на основании яркостных и геометрических

*характеристик изображений спекл-трекинг эхокардиографии с использованием в качестве референтных значений заключения сегментной модели сердца.*

**Ключевые слова:** *спекл-трекинг эхокардиография, добутамин, сегментная модель сердца, компьютерный анализ изображений, компьютерная обработка изображений.*

**Summary.** *The paper considers the building logistic regression models for finding signs of a violation of the normal heart functioning based on the brightness and geometric characteristics of the speckle-tracking echocardiography images using the conclusions of the cardiac segmentation model as reference values.*

**Key words:** *speckle-tracking echocardiography, dobutamine, cardiac segmentation model, computer image analysis, computer image processing.*

**Постановка проблеми.** Як відомо з результатів численних сучасних досліджень, серцево-судинні захворювання посідають перше місце серед причин смертності та одно з перших місць – серед причин інвалідності. Зважаючи на це, своєчасне виявлення відхилень в роботі серцево-судинної системи та попередження подальшого їх розвитку представляє собою актуальну проблематику сьогодення. Одним з напрямів медичних досліджень, що націлені на вирішення цієї задачі, є різноманітні способи аналізу роботи серця та судин, серед яких доволі перспективною технологією виявлення ознак порушення нормальної динаміки серця останнім часом зарекомендувала себе спекл-трекінг ехокардіографія. Дані, що надає цей метод, дозволяють виявляти вади в роботі лівого шлуночка серця, що можуть бути ознаками серцевої недостатності, зокрема, ішемічної хвороби серця.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Спекл-трекінг

ехокардіографія (СТЕ) – перспективний метод дослідження стану серця, що дозволяє виявляти відхилення динаміки лівого шлуночка серця як загального, так і локального порядку. Можливості цього методу і його прогнозує значення в оцінці міокарда у хворих з хронічною ішемічною хворобою серця, при гострому інфаркті міокарда, при постінфарктному кардіосклерозі розглядаються в роботах Н.К. Мурашової [7], Н.А. Кошелевої зі співавторами [8], М.Ю. Гілярова зі співавторами [9], діагностичним її аспектам у вагітних із синдромом дилатаційної кардіоміопатії присвячена робота Д.А. Дорошенко зі співавторами [10]. Дослідження і публікації на цю тему показують, що в якості джерела інформації, яке представляє різні аспекти порушення роботи серця, можливості СТЕ не вичерпні і потребують подальшого розгляду.

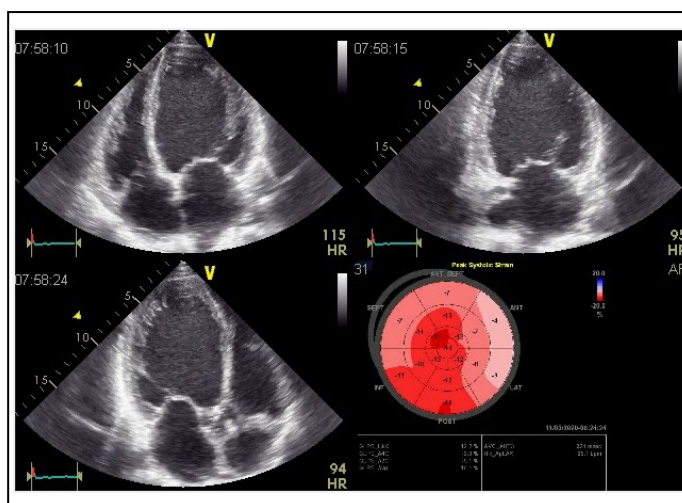
**Мета статті** - побудувати логістичні моделі на основі аналізу даних спекл-трекінг ехокардіографії (СТЕ), використавши в якості референтних висновки, зображені на сегментній моделі серця, для знаходження характерних ознак, що свідчать про порушення роботи серця в цілому або окремих його сегментів.

**Виклад основного матеріалу.** Як відомо з результатів численних сучасних досліджень [1; 2], серцево-судинні захворювання посідають перше місце серед причин смертності та одно з перших місць – серед причин інвалідності. Статистика по Україні свідчить, що вона, на жаль, не є виключенням з цього положення [3]. Знаходження ознак порушень роботи серця, що можуть бути виявлені за допомогою математичних методів, а отже, автоматизовані, являє собою актуальну задачу сучасного етапу розвитку медицини. Враховуючи значне поширення останнім часом серцево-судинних захворювань постає нагальна потреба якомога більш ранньої їх діагностики. В цьому напрямку перспективними можуть виявитися методи аналізу обстежень, що використовують математичний апарат та його реалізацію за допомогою різноманітних комп'ютерних

технологій. Системи, побудовані за цим принципом, вже сьогодні надають значну допомогу лікарям при роботі за пацієнтами, а при достатньому подальшому розвитку та уважному відношенні до питань безпеки мають змогу стати для них незамінними помічниками. Актуальним також є розробка апаратури та алгоритмів неінвазивної діагностики ішемічної хвороби серця (ІХС), а також алгоритмів підтримки прийняття діагностичних рішень навіть із застосуванням існуючої (більш простої) апаратури ультразвукової діагностики (УЗД).

В статті розглядаються результати обробки даних, отриманих за результатами спекл-трекінг ехокардіографії (СТЕ) – методу, що сьогодні вважається в кардіології одним з перспективних [4-6], та їх аналізу, зокрема, побудовою моделей логістичної регресії [11].

Проводився аналіз ехокардіограм, що були отримані в В-режимі з проєкцій апікальних 4-камерної, 2-камерної та 3-камерної (по довгій осі) позицій, в яких відеокадри з ультразвукових датчиків було доповнено зображенням сегментів лівого шлуночка у вигляді так званого «бичачого ока» («bull's eye») (рис. 1).



**Рис. 1. Кадр з початкової відеопослідовності ехоКГ**

Було проаналізовано результати 244-х обстежень 92-х пацієнтів Національного Інституту Серцево-Судинної Хірургії ім. М.М. Амосова, як

у режимі спокою, так і з застосуванням добутамінової проби з дозами 10, 20 та 40 мкг під наглядом кваліфікованого анестезіолога. В 63-х дослідженнях порушень в роботі серця виявлено не було, в 181-му дослідженні були виявлені відхилення в кінематиці лівого шлуночка.

Результати ехокардіографії являли собою набір відеофрагментів, в кожному з яких був зафіксований результат одного обстеження серця або в природному стані або після застосування дози добутамінової проби. У відеоряді кожного фрагменту покадрово відображені стани міокарду та порожнин серця окремо по кожній з трьох обстежуваних проекцій в різні моменти серцевого циклу, а також частота серцевих скорочень та стан ЛШ серця по сегментам, кожний з яких відображає окремі басейни коронарного кровопостачання, у відповідності до сегментарної моделі у вигляді т.зв. «бичачого ока».

При аналізі, окрім відеоряду, використовувались дані про ступені порушень кінематики (стрейни) окремих сегментів ЛШ по відповідним проекціям, що відображені на «бичачому оці», а також значення частоти серцевих скорочень. У кожному відеофрагменті були визначені кадри систоли та діастоли, з яких знімалися, розраховувалися та аналізувалися характеристики зображень.

При підготовці даних для наступного аналізу всі дослідження одного пацієнта були розміщені у окремому каталозі, всередині якого були організовані каталоги з кадрами відеофрагментів досліджень без добутаміна або після застосування деякої її дози.

Для спрощення роботи з зображеннями відеофрагменти були перетворені і кожний кадр кожного відеоряду було збережено в окремому файлі графічного формату JPEG, що при необхідності дозволяє працювати з будь-яким кадром як із звичайним файлом стандартними засобами.

Для зручної та більш результативної роботи з великою кількістю даних було розроблено комп'ютерну програму, що дозволяє



автоматизувати значну частину операцій в процесі роботи з результатами ехоКГ – програма автоматично перетворює початкові відеодані, організує їх в єдину впорядковану структуру з зручним доступом, проводить попередній аналіз, знімає необхідні параметри та застосовує обробку до всіх кадрів всіх відеофрагментів одразу, тому для візуальної оцінки зображень та результатів їх обробки, аналізу та отримання значень не потрібно звертатися до кожного кадру окремо, а можна бачити результати на всьому масиві кадрів, що значно спрощує та прискорює отримання потрібних даних.

На кожному відеокадрі програма визначає та відображає інформативні області зображення кожної проекції та відповідні їм сегменти на «бичачому оці» (рис. 2), що дає можливість швидко зіставляти вигляд окремих фрагментів лівого шлуночка на зображеннях з тяжкістю стану його сегментів.

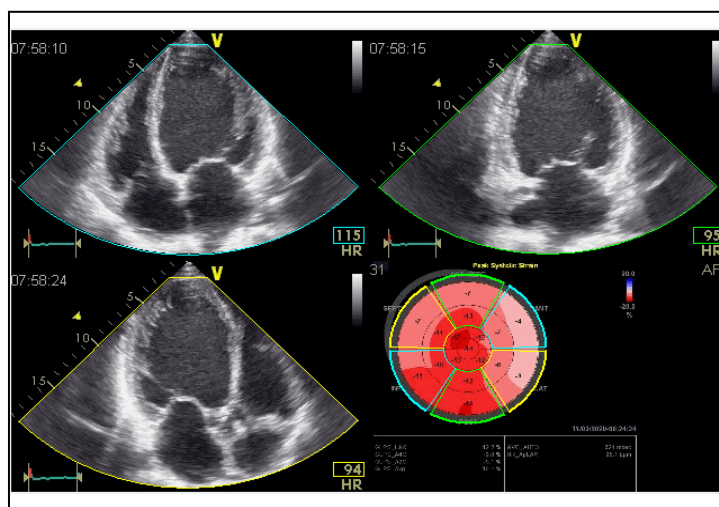


Рис. 2. Результат аналізу програмою відеокадру ехоКГ

Також програма будує гістограми зображень та розраховує такі її характеристики, як мода та три квартиля (рис. 3), за якими можна оцінити яскравостні характеристики кадру, а також графіки комбінацій яскравості (градацій сірого) сусідніх точок на інформативній області зображення ехокардіограми (рис. 4).

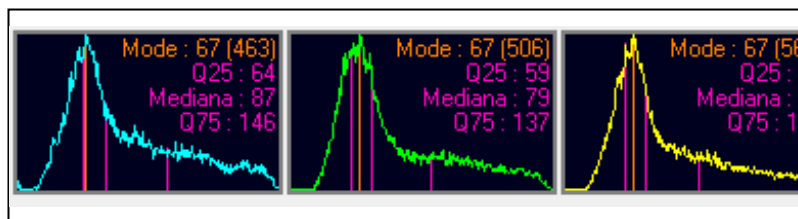


Рис. 3. Гістограми інформативних областей ехоКГ

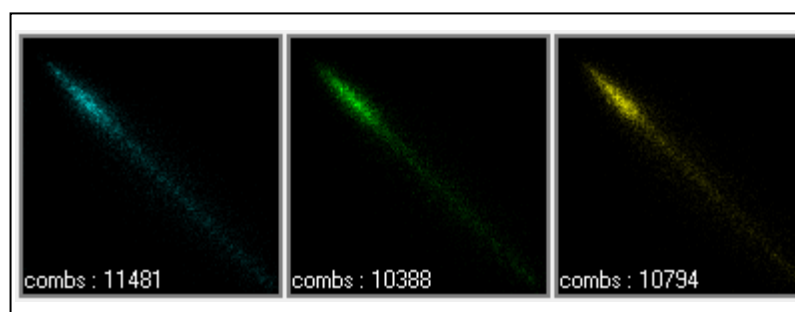


Рис. 4. Кількості комбінацій яскравостей сусідніх точок ехоКГ

За допомогою програми було отримано набори даних окремо для кожної проекції, які використовувались для пошуку взаємних залежностей для, чого будувалися різні моделі логістичної регресії.

Обробка та аналіз даних проводилися у три етапи, на кожному з яких розглядалися окремі набори характеристик та використовувались окремі підходи.

На першому етапі шукалися зв'язки між тяжкістю стану лівого шлуночка серця загалом та тих його фрагментів, що було зображено на кадрах відповідної проекції та наступними характеристиками : доза добутамінової проби (або її відсутність), частота серцевих скорочень, фаза серцевого циклу – систола або діастола, мода та кuartілі гістограми а також процент найбільш частих сполучень яскравостей сусідніх точок зображення. Всі параметри були визначені програмою автоматично за результатами аналізу робочих областей зображень. В навчальну вибірку було включено 171 дослідження (70%), в тестову – 73 (30%). Було побудовано моделі логістичної регресії, результати яких показано в табл. 1 для кожної позиції.



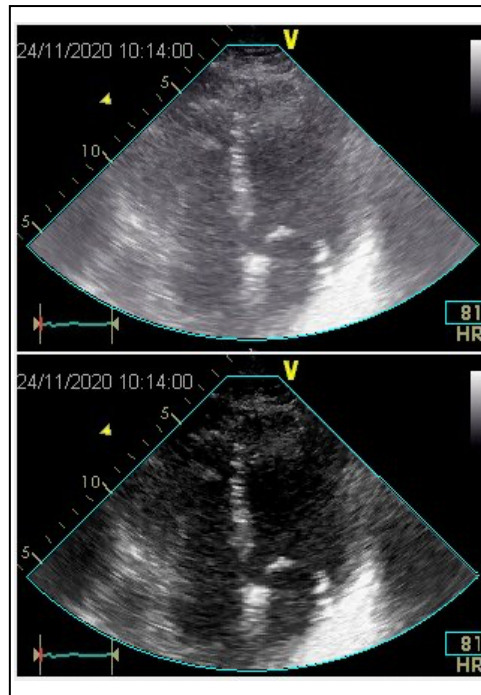
Таблиця 1

	Передбачені																	
	4-камерна					2-камерна					3-камерна (довга)							
	навчання			екзамен			навчання			екзамен			навчання			екзамен		
Спостережені	0	1	%	0	1	%	0	1	%	0	1	%	0	1	%	0	1	%
0	37	22	62.7	5	3	62.5	32	39	45.1	9	9	50.0	16	32	33.3	7	3	70.0
1	19	93	83.0	14	51	78.5	11	89	89.0	15	40	72.7	9	114	92.7	10	53	84.1
точність, %	76.0			76.7			70.8			67.1			76.0			82.2		
чутливість, %	80.9			94.4			69.5			81.6			78.1			94.6		
специфічність, %	66.1			26.3			74.4			37.5			64.0			41.2		

Оскільки робочі області зображень аналізувалися повністю, тобто включали значну частину неінформативних ділянок, можна висловити припущення, що при відкиданні частин зображення, що не містять суттєвих даних про роботу саме лівого шлуночка та зведенні областей для аналізу лише до тих його ділянок, де відображається саме динаміка роботи серця, дозволить знайти більш прогностичні зв'язки наведених характеристик.

На другому етапі, зважаючи на те, що якість різних початкових відеофрагментів ехоКГ значно відрізнялася, було проведено дослідження можливості привести зображення до більш одноманітного вигляду, для чого застосовувалася обробка кадрів методами з арсеналу графічних перетворень.

Зокрема, до «блідих» фрагментів порівнювалося застосування різних методів контрастування, як стандартного, так і масштабування гистограми для «розтягування» інформативної її ділянки на весь можливий діапазон яскравості (рис. 5).



**Рис. 5. Кадр ехоКГ до та після контрастування**

Аналіз обробки зображень на цьому етапі показав, що даний напрямок є доволі перспективним, однак для отримання більш конкретних результатів цього підходу варіанти такої обробки потребують подальших досліджень. Зокрема, результативним може виявитися аналіз не кожного кадру окремо, а взаємного зіставлення суміжних кадрів, що може дати не тільки підвищення якості самих зображень, а також додаткову інформацію про кінематику роботи серця.

На третьому етапі у програмі були розмічені контури лівого шлуночку серця на кадрах систоли та діастолі та визначені такі його характеристики, як зміна об'єму, довжини, ширини та зміщення положення стінок в систолу та діастолу та шукалися зв'язки між ними та тяжкістю стану сегментів шлуночка. Оскільки якість зображень не дозволяла автоматизувати процес визначення шлуночка на всіх відеофрагментах, його контури було розмічено вручну, а основні його характеристики були визначені програмою автоматично (рис. 6).

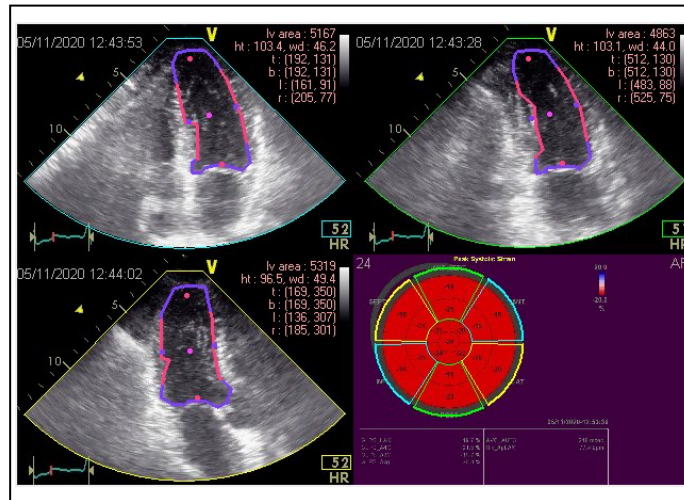


Рис. 6. Програмне визначення параметрів лівого шлуночка

В навчальну вибірку було включено 129 досліджень (70%), в тестову – 56 (30%). Було побудовано моделі логістичної регресії, результати яких показано в табл. 2 для кожної позиції.

За результатами побудованих моделей можна зробити висновок, що зв'язок між вищевказаними змінами геометричних параметрів лівого шлуночка та тяжкістю станів його сегментів, відображеною на «бичачому оці» існує, але виявлений недостатньо для достовірного його прогнозування, хоча з великою ймовірністю дозволяє припустити наявність вад.

Таблиця 2

	Передбачені																	
	4-камерна						2-камерна						3-камерна (довга)					
	навчання			екзамен			навчання			екзамен			навчання			екзамен		
Спостережені	0	1	%	0	1	%	0	1	%	0	1	%	0	1	%	0	1	%
0	20	23	46.5	1	2	33.3	26	26	50.0	5	3	62.5	24	12	66.7	5	5	50.0
1	9	77	89.5	14	39	73.6	12	65	84.4	16	32	66,7	8	85	91.4	10	36	78.3
точність, %	75.2			75.5			70.5			66.1			84.5			73.2		
чутливість, %	77.0			95.1			71.4			91.4			87.6			87.8		
специфічність, %	68.9			06.7			68.4			23.8			75.0			33.3		

В даних моделях розглядалася інтегральна ознака стану всіх сегментів, що відображені в кожній з позицій. Оскільки кожна проекція одночасно зображає стан декількох сегментів, може мати сенс вдосконалити модель аналізом окремих областей зображення, кожна з яких відповідає конкретному сегменту. Отже, при подальшому опрацюванні цей напрямок моделювання може дати більш якісні результати.

**Висновки.** Застосування регресійних моделей на даних, отриманих з апарату ехокардіографії, показало прийнятну точність результатів, хоча й не дозволило побудувати достатньо надійні моделі.

Однак, з урахуванням того, що в цій роботі не всі можливості отримання корисної для моделювання інформації було вичерпано, перспективним є продовження досліджень із визначення інших характеристик зображень та застосування інших класів моделей.

Для яскравостних характеристик може бути корисним відкидання тих частин зображень, що не містять суттєвих даних про роботу саме лівого шлуночка та аналіз лише до тих його областей, де відображається саме динаміка роботи серця.

Для геометричних характеристик лівого шлуночка може мати сенс розглядання областей зображення, що відповідають конкретним сегментам, окремо одну від одної, щоб уникнути втрати інформативності, яка може відбуватися при інтегральному розгляді ознак стану всіх сегментів, як одного цілого.

### **Література**

1. The top 10 causes of death. World Health Organization, 2020. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
2. Heart Disease and Stroke Statistics - 2020 Update. «Professional Heart Daily», 2020. URL: <https://professional.heart.org/en/science-news/heart->

disease-and-stroke-statistics-2020-update

3. Коваленко В.М., Дорогой А.П. Серцево-судинні хвороби: медично-соціальне значення та стратегія розвитку кардіології в Україні // Український кардіологічний журнал. 2016. Дод. 3. URL: [http://journal.ukrcardio.org/wp-content/uploads/2016/03D/1\\_3d\\_2016.pdf](http://journal.ukrcardio.org/wp-content/uploads/2016/03D/1_3d_2016.pdf)
4. Боев С.С., Доценко Н.Я., Молодан А.В., Шехунова И.А., Дедова В.О. Диагностические аспекты спекл-трекинг эхокардиографии у больных ишемической болезнью сердца с хронической сердечной недостаточностью. ГИДУВ, 2013. Вып. №4. URL: <https://old.giduv.com/journal/2013/4/diagnosticheskie>
5. Несукай Е.Г., Даниленко А.А. Роль спекл-трекинг эхокардиографии в диагностике и лечении сердечно-сосудистых заболеваний // Артериальная гипертензия. 2018. №2(58). URL: <https://dx.doi.org/10.22141/2224-1485.2.58.2018.131064>
6. Степанова А.И., Алехин М.Н. Возможности и ограничения спекл-трекинг стресс-эхокардиографии // Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины. 2019. Том 34. №1. URL: <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-1-10-17>
7. Мурашова Н.К. Возможности speckle tracking эхокардиографии в выявлении жизнеспособного миокарда у больных с хронической ишемической болезнью сердца. URL: <http://kniga.seluk.ru/k-medsina/13498-1-vozmozhnosti-speckle-tracking-ehokardiografii-viyavlenii-zhiznesposobnogo-miokarda-bolnih-hronicheskoy-ishemicheskoy.php>
8. Кошелева Н.А., Мельдина Ю.Н., Ребров А.П. Прогностическое значение спекл-трекинг эхокардиографии при остром инфаркте миокарда. «Архивь внутренней медицины». 2016. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognosticheskoe-znachenie-spekl-treking-ehokardiografii-pri-ostrom-infarkte-miokarda/viewer>

9. Гиляров М.Ю., Мурашова Н. К., Новикова Н.А., Седов В.П., Сыркин А.Л. Использование спекл-трекинг эхокардиографии для предсказания жизнеспособности миокарда у больных с постинфарктным кардиосклерозом // Издательство Видар Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2014. №1. С. 73. URL: [http://vidar.ru/Article.asp?fid=USFD\\_2014\\_1\\_73](http://vidar.ru/Article.asp?fid=USFD_2014_1_73)
10. Дорошенко Д. А., Зубарев А. Р., Лапочкина О. Б., Коньшева О. В., Тюлькина Е. Е., Принц Г. Д. Диагностические аспекты спекл-трекинг-эхокардиографии у беременных с синдромом дилатационной кардиомиопатии // Научно-практический журнал Медицинский совет №5 (2016). URL: <https://www.med-sovet.pro/jour/article/view/1340/0>
11. Практика построения модели логистической регрессии // Центр Статистического Анализа. URL: <https://www.statmethods.ru/stati/modeli-logisticheskoy-regressii/>

### References

1. The top 10 causes of death. World Health Organization, 2020. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
2. Heart Disease and Stroke Statistics - 2020 Update. «Professional Heart Daily», 2020. URL: <https://professional.heart.org/en/science-news/heart-disease-and-stroke-statistics-2020-update>
3. Kovalenko V.M., Doroghoj A.P. Sercevo-sudynni khvoroby: medychno-socialjne znachennja ta strateghija rozvytku kardiologhiji v Ukrajinii // Ukrajinjskyj kardiologhichnyj zhurnal. 2016. Dod. 3. URL: [http://journal.ukrcardio.org/wp-content/uploads/2016/03D/1\\_3d\\_2016.pdf](http://journal.ukrcardio.org/wp-content/uploads/2016/03D/1_3d_2016.pdf)
4. Boev S.S., Dotsenko N.Ya., Molodan A.V., Shekhunova I.A., Dedova V.O. Diagnosticheskie aspekty spekl-treking ekhokardiografii u bolnykh ishemicheskoy boleznju serdtsa s khronicheskoy serdechnoy

- nedostatochnostyu. GIDUV, 2013. Vyp. №4. URL: <https://old.giduv.com/journal/2013/4/diagnosticheskie>
5. Nesukay Ye.G., Danilenko A.A. Rol spekl-treking ekhokardiografii v diagnostike i lechenii serdechno-sosudistykh zabolevaniy // *Arterialnaya gipertenziya*. 2018. №2(58). URL: <https://dx.doi.org/10.22141/2224-1485.2.58.2018.131064>
  6. Stepanova A.I., Alekhin M.N. Vozmozhnosti i ogranicheniya spekl-treking stress-ekhokardiografii // *Sibirskiy zhurnal klinicheskoy i eksperimentalnoy meditsiny*. 2019. Tom 34. №1. URL: <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-1-10-17>
  7. Murashova N.K. Vozmozhnosti speckle tracking ekhokardiografii v vyyavlenii zhiznesposobnogo miokarda u bolnykh s khronicheskoy ishemicheskoy boleznью serdtsa. URL: <http://kniga.seluk.ru/k-medsina/13498-1-vozmozhnosti-speckle-tracking-ehokardiografii-viyavlenii-zhiznesposobnogo-miokarda-bolnih-hronicheskoy-ishemicheskoy.php>
  8. Kosheleva N.A., Meldina Yu.N, Rebrov A.P Prognosticheskoe znachenie spekl-treking ekhokardiografii pri ostrom infarkte miokarda. «*Arkhiv vnutrenney meditsiny*». 2016. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognosticheskoe-znachenie-spekl-treking-ehokardiografii-pri-ostrom-infarkte-miokarda/viewer>
  9. Gilyarov M.Yu., Murashova N. K., Novikova N.A., Sedov V.P., Syrkin A.L. Ispolzovanie spekl-treking ekhokardiografii dlya predskazaniya zhiznesposobnosti miokarda u bolnykh s postinfarktym kardiosklerozom // *Izdatelstvo Vidar Ultrazvukovaya i funktsionalnaya diagnostika*. 2014. №1. S. 73. URL: [http://vidar.ru/Article.asp?fid=USFD\\_2014\\_1\\_73](http://vidar.ru/Article.asp?fid=USFD_2014_1_73)
  10. Doroshenko D. A., Zubarev A. R., Lapochkina O. B., Konysheva O. V., Tyulkina Ye. Ye., Prints G. D. Diagnosticheskie aspekty spekl-treking-ekhokardiografii u beremennykh s sindromom dilatatsionnoy



kardiomiopatii // Nauchno-prakticheskiy zhurnal Meditsinskiy sovet №5 (2016). URL: <https://www.med-sovet.pro/jour/article/view/1340/0>

11. Praktika postroeniya modeli logisticheskoy regressii // Tsentri Statisticheskogo Analiza. URL: <https://www.statmethods.ru/stati/modeli-logisticheskoy-regressii/>