

Виявлення патологій серця за МРТ-зображенням засобами пояснювального штучного інтелекту

Слободзян Віталій, Олександр Бармак, 2025 рік

1. Human-in-the-loop approach based on MRI and ECG for healthcare diagnosis / P. Radiuk et al. *5th International Conference on Informatics and Data-Driven Medicine, IDDM 2022* : Conference Proceedings, Lyon, 18–20 November 2022. 2022. P. 9–20. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3302/paper1.pdf>. (Scopus).
2. Myocardium Segmentation using Two-Step Deep Learning with Smoothed Masks by Gaussian Blur / V. Slobodzian et al. *6th International Conference on Informatics and Data-Driven Medicine, IDDM 2023* : Conference Proceedings, Bratislava, 17–19 November 2022. 2023. P. 77–91. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3609/paper7.pdf>. (Scopus).
3. Multi-Stage Segmentation and Cascade Classification Methods for Improving Cardiac MRI Analysis / V. Slobodzian et al. *Information Technology and Implementation (IT&I-2024)* : Conference Proceedings, 20–21 November 2024. Kyiv, 2024. URL: <https://arxiv.org/pdf/2412.09386>.

Схема запропонованого підходу

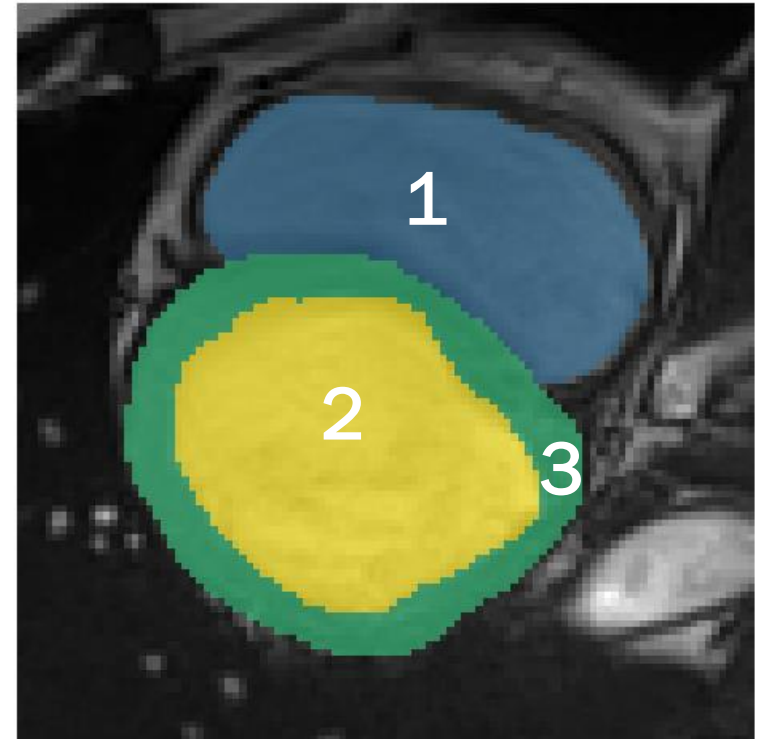


НН1. Метод 1:

Багатоступенева сегментація МРТ зображень на ПШ¹, ЛШ², та МЛШ³

Особливості запропонованого методу

- Попереднє визначення області інтересів окремо для кожної області
- Використання бінарної сегментації замість мультиструктурної
- Використання додаткової постобробки масок.



1 – лівий шлуночок

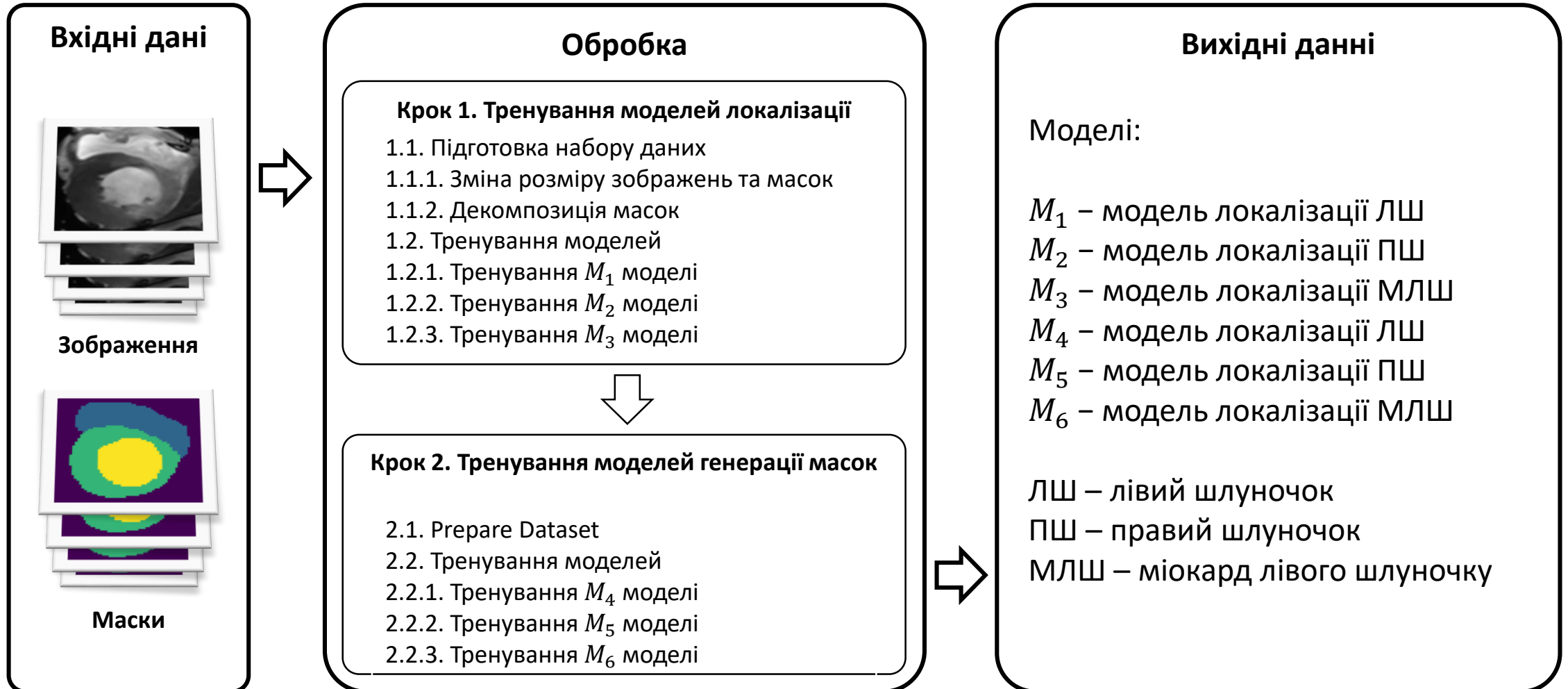
2 – правий шлуночок

3 – міокард лівого шлуночка

НН1. Метод 1:

Багатоступенева сегментація МРТ-зображень на ПШ, ЛШ, та МЛШ

Схема навчання моделей сегментації МРТ зображень



НН1. Метод 1:

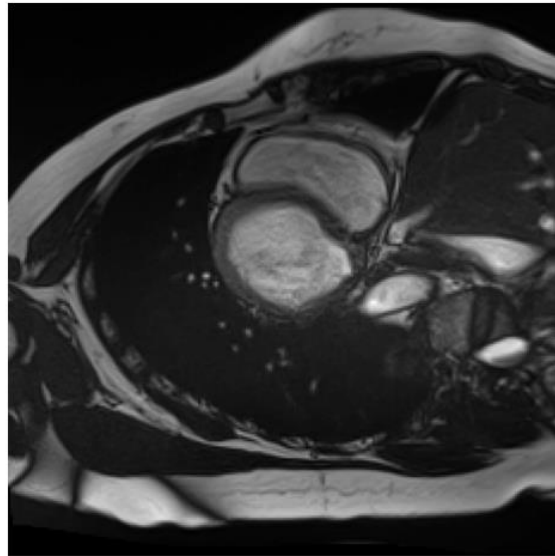
Багатоступенева сегментація МРТ зображень на ПШ, ЛШ, та МЛШ

Оригінальний набір даних

$$D_1 = \{d_1, d_2, \dots, d_N\}, d_i = (Img_i, Msk_i), \quad i = 1, 2, \dots, N$$

Img_i – МРТ-зображення області серця, Msk_i – маска, яка створена лікарем для цього зображення,

N – кількість зразків (таких пар) у наборі даних



МРТ зображення



Маска

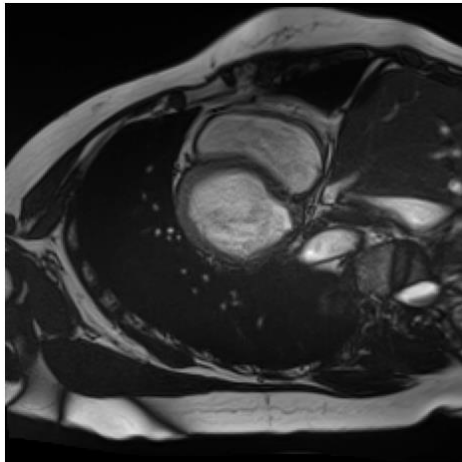
НН1. Метод 1:

Багатоступенева сегментація МРТ зображень на ПШ, ЛШ, та МЛШ

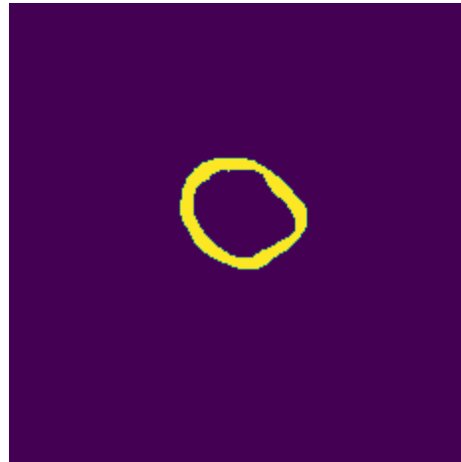
Модифікація набору даних для навчання моделей локалізації

$$D_2 = \{d_1, d_2, \dots, d_N\}, d_i = (ctImg_i, ctMsk_i^1, ctMsk_i^2, ctMsk_i^3), \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$ctImg_i$ – «обрізане» МРТ-зображення області серця, $ctMsk_i^1$ – «обрізана» маска для лівого шлуночка, $ctMsk_i^2$ – «обрізана» маска для правого шлуночка, $ctMsk_i^3$ – «обрізана» маска для міокарда, N – кількість зразків у наборі даних



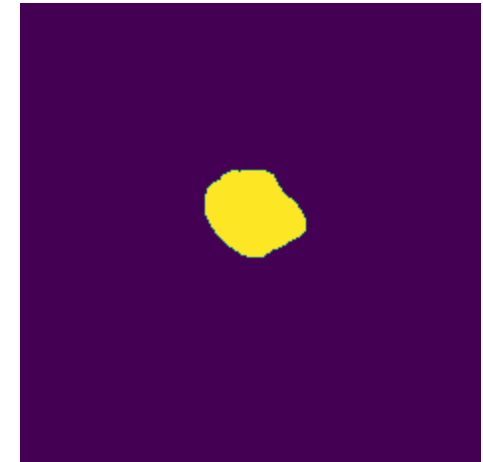
МРТ зображення



Маска сегменту
міокарда



Маска сегменту
правого шлуночку



Маска сегменту
лівого шлуночку

НН1. Метод 1:

Багатоступенева сегментація MPT зображень на ПШ, ЛШ, та МЛШ

Модифікація набору даних для навчання моделей генерації масок лівого шлуночка

$$D_3 = \{d_1, d_2, \dots, d_N\}, d_i = (lvImg_i, lvMsk_i), \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$lvImg_i$ – локалізоване MPT-зображення області лівого шлуночка,

$lvMsk_i$ – локалізована маска для лівого шлуночка

N – кількість зразків (таких пар) у наборі даних



МРТ зображення



Маска лівого шлуночку

НН1. Метод 1:

Багатоступенева сегментація МРТ зображень на ПШ, ЛШ, та МЛШ

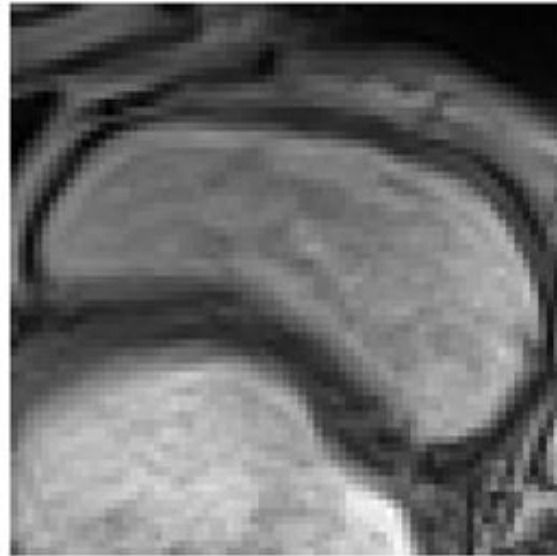
Модифікація набору даних для навчання моделей генерації масок правого шлуночка

$$D_4 = \{d_1, d_2, \dots, d_N\}, d_i = (rvImg_i, rvMsk_i), \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$rvImg_i$ – локалізоване МРТ-зображення області правого шлуночка,

$rvMsk_i$ – локалізована маска для правого шлуночка

N – кількість зразків (таких пар) у наборі даних



МРТ зображення



Маска правого шлуночку

НН1. Метод 1:

Багатоступенева сегментація МРТ зображень на ПШ, ЛШ, та МЛШ

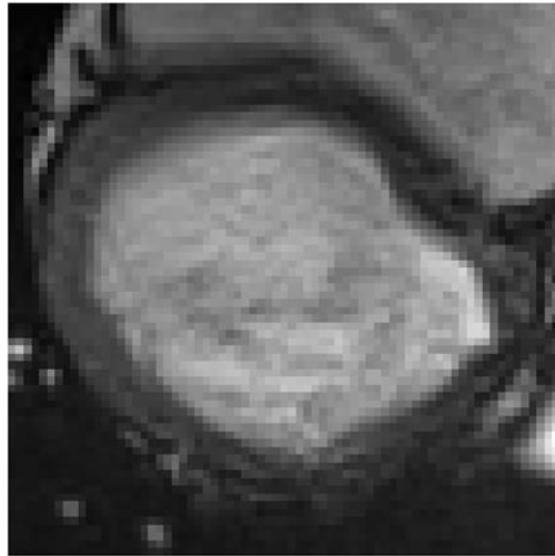
Модифікація набору даних для навчання моделей генерації масок міокарда

$$D_5 = \{d_1, d_2, \dots, d_N\}, d_i = (myoImg_i, myoMsk_i), \quad i = 1, 2, \dots, N$$

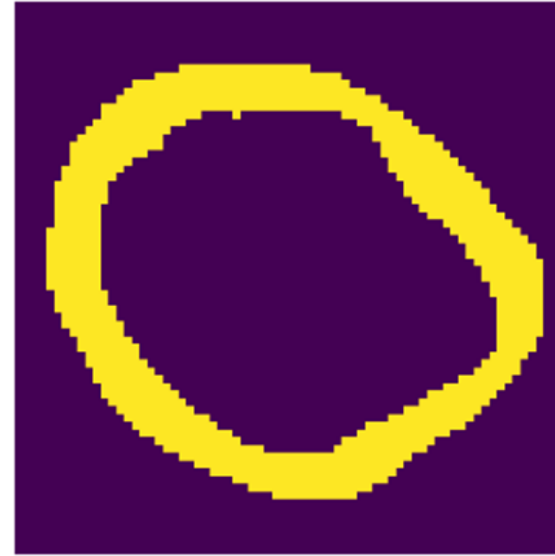
$myoImg_i$ – локалізоване МРТ-зображення області міокарду лівого шлуночка,

$myoMsk_i$ – локалізована маска для міокарду лівого шлуночка

N – кількість зразків (таких пар) у наборі даних



МРТ зображення

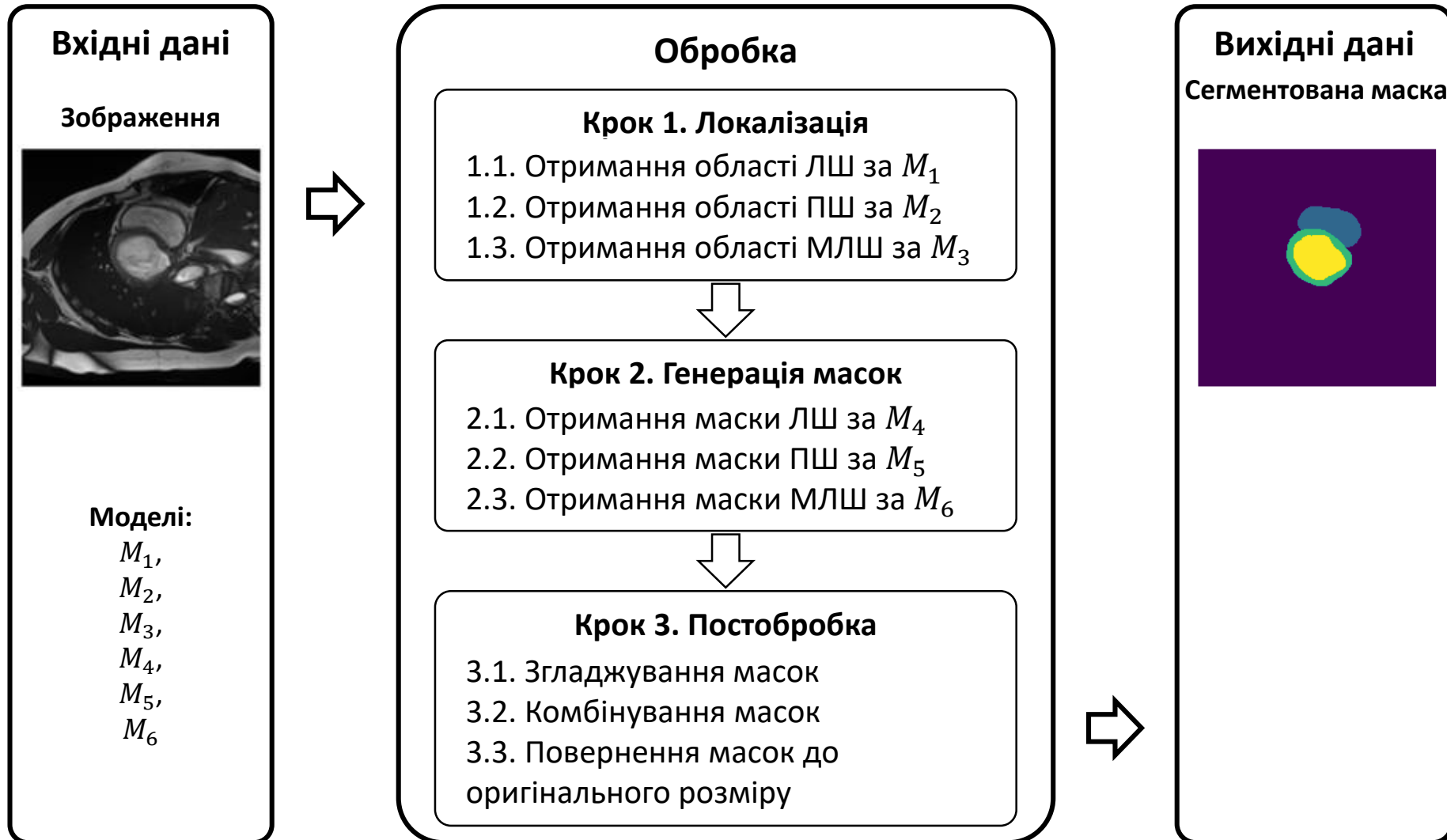


Маска міокарду

НН1. Метод 1:

Багатоступенева сегментація MRT зображень на ПШ, ЛШ, та МЛШ

Схема процесу сегментації MRT зображень



НН1. Метод 1:

Багатоступенева сегментація МРТ зображень на ПШ, ЛШ, та МЛШ

Згладжування контурів масок сегментації

Підготовка даних

- Визначення масок та збільшення їх до розмірів
- Застосування розмиття Гауса до всіх масок з параметром σ від 0 до 1 з кроком 0.1.

Визначення оптимального σ

- Визначення оптимального значення σ для кожної маски, яке забезпечує найвищу точність.

Навчання моделі

- Навчання моделі лінійної регресії де вхідним параметром є ширина зображення, а вихідним - оптимальне значення σ

Впровадження моделі

- Використання моделі як елемент постобробки для покращення контурів масок після повернення до оригінального розміру

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}}$$

$G(x, y)$ – значення фільтра Гауса в точці (x, y)

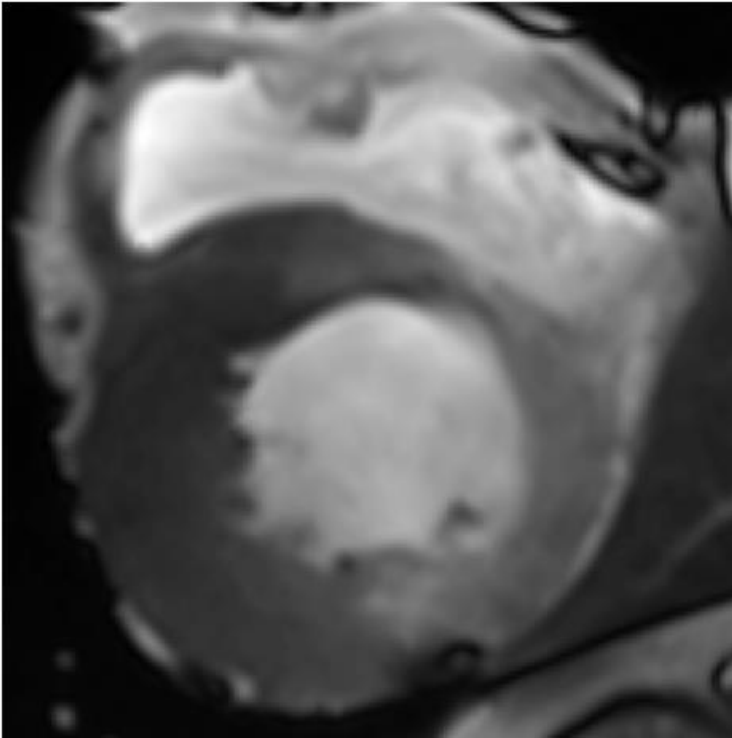
σ – стандартне відхилення, яке визначає ступінь розмиття

(x, y) – координати пікселя на зображенні

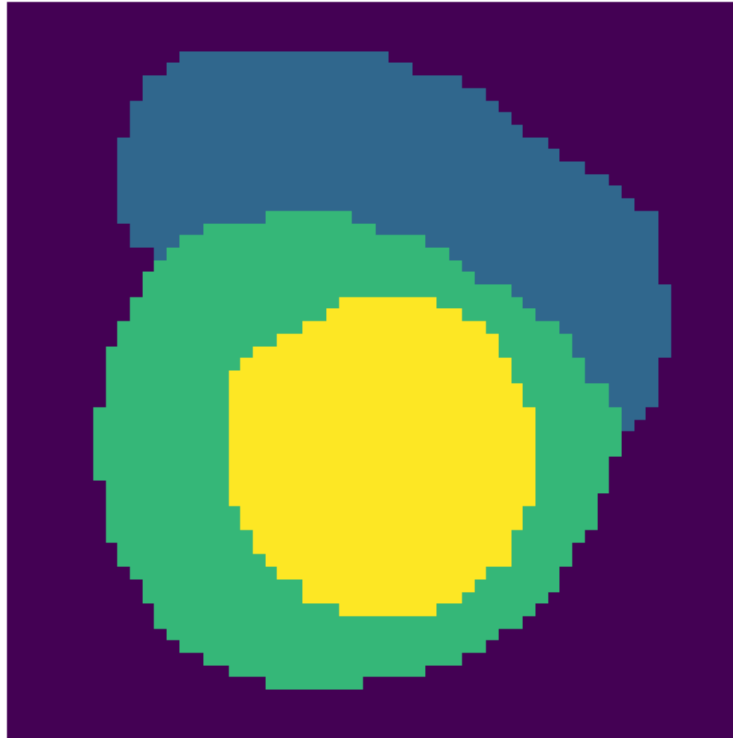
НН1. Метод 1:

Багатоступенева сегментація МРТ–зображень на ПШ, ЛШ, та МЛШ

Результати сегментації МРТ-зображень



(А) Вхідне локалізоване зображення



(Б) Маска на виході нейромережі



(В) Маска на виході методу

НН1. Метод 1:
Багатоступенева сегментація МРТ зображень на ПШ, ЛШ, та МЛШ

Порівняння результатів з іншими авторами

Автори	Діастола			Систола		
	Лівий шлуночок	Правий шлуночок	Міокард лівого шлуночка	Лівий шлуночок	Правий шлуночок	Міокард лівого шлуночка
Запропонований метод	<u>0.974</u>	<u>0.947</u>	0.896	<u>0.940</u>	<u>0.915</u>	<u>0.920</u>
Isensee et al.	0.968	0.946	0.902	0.931	0.899	0.919
Baumgartner et al.	0.963	0.932	0.892	0.911	0.883	0.901
Jang et al.	0.959	0.929	0.875	0.921	0.885	0.895
Zotti et al.	0.957	0.941	0.884	0.905	0.882	0.896
Khened et al.	0.964	0.935	0.889	0.917	0.879	0.898

НН2. Метод 2:

Каскадна класифікація МРТ зображень

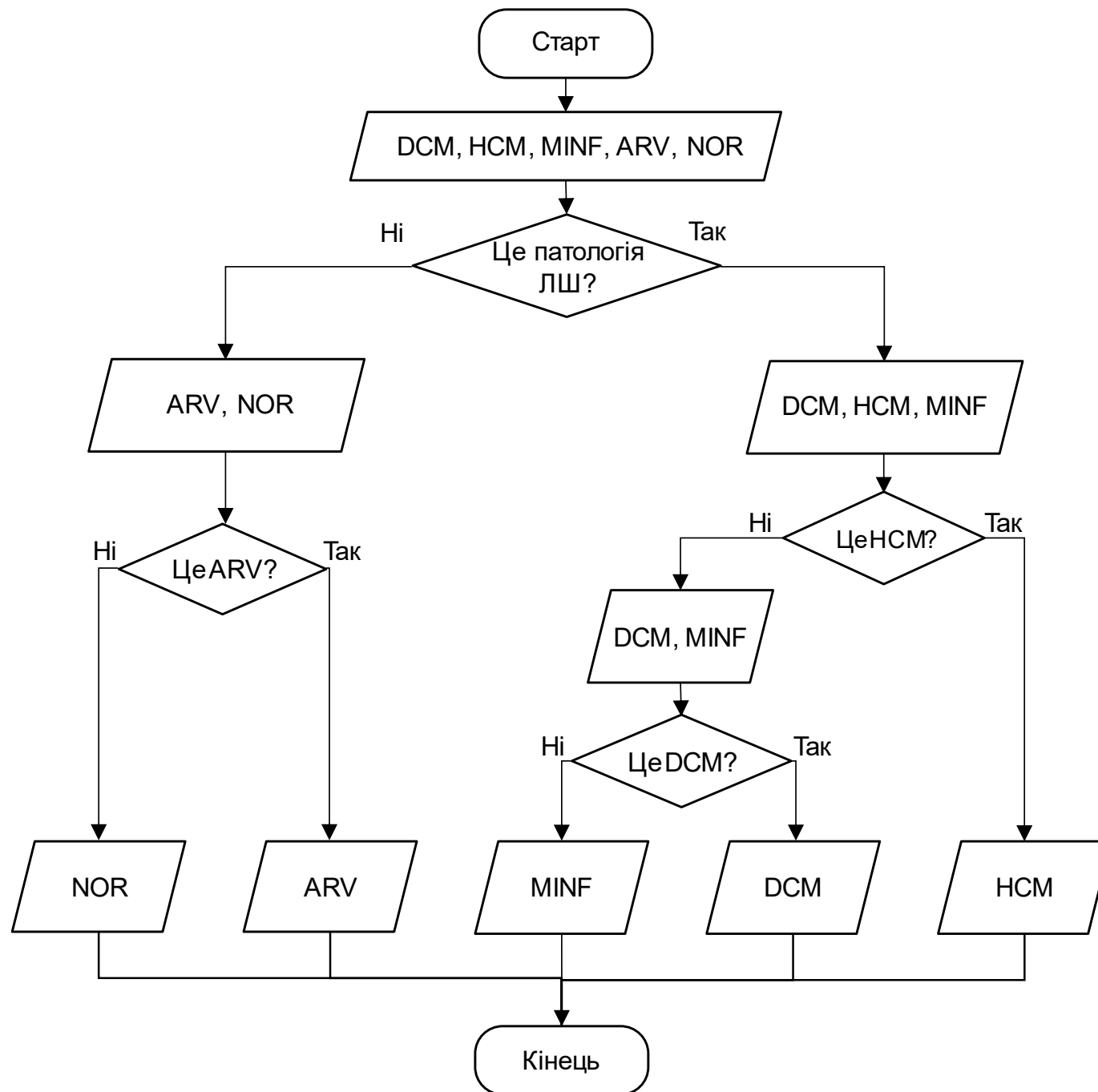
Особливості запропонованого методу

- Групування патологій на окремі бінарні класи
- Використання каскадної моделі класифікації
- Доповнення МРТ зображень даними сегментації

Патології

- DCM – дилатаційна кардіоміопатія
- HCM – гіпертрофічна кардіоміопатія
- MINF – міокардит
- ARV – аритмогенна правошлуночкова кардіоміопатія
- NOR – нормальний стан

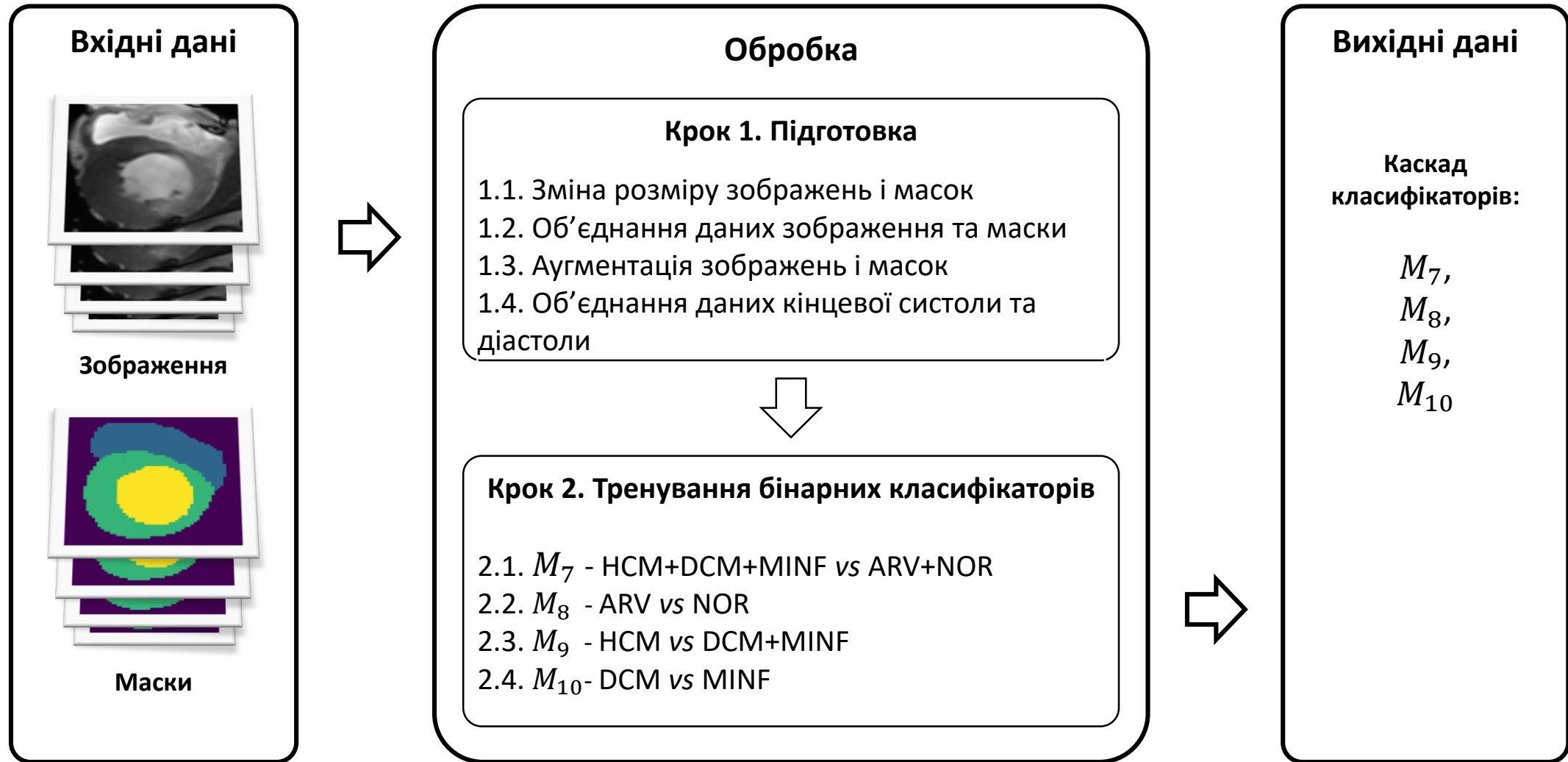
НН2. Метод 2: Структура каскадної класифікації



НН2. Метод 2:

Каскадна класифікація МРТ зображень

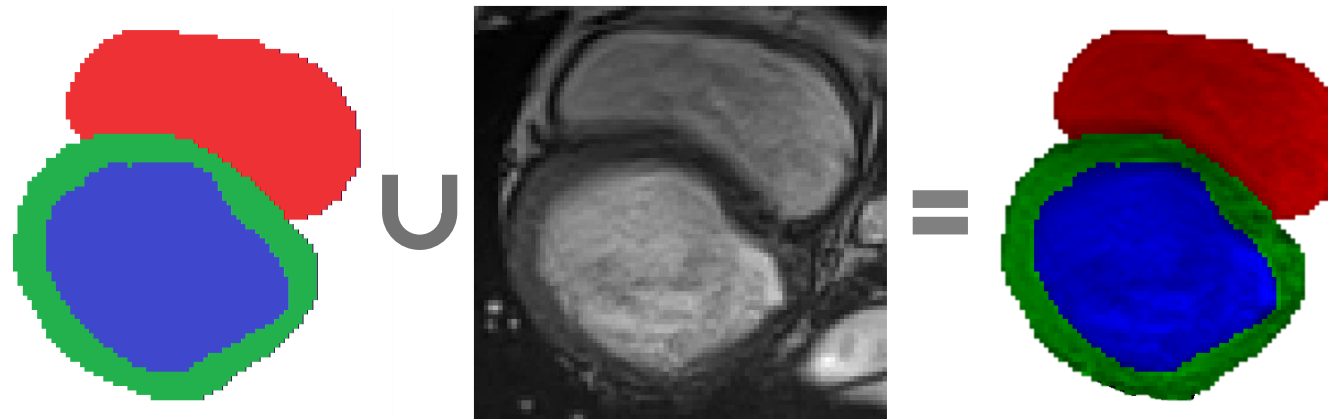
Схема навчання моделей класифікації МРТ зображень



НН2. Метод 2:

Каскадна класифікація МРТ зображень

Об'єднання даних зображень і масок



$$D_6 = \{d_1, d_2, \dots, d_N\}, d_i = (I_{MRI}^{new}, Cls), \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$$I_{MRT}^{new} = (img_1, img_2, \dots, img_K), \quad K = 42$$

I_{MRT}^{new} – зображення, Cls – клас патології, $Cls \in 1, 2, 3, 4, 5$,

$img_1 - img_{21}$ – 21 МРТ-зображення (із зрізів вздовж короткої осі) зі систолічної фази,

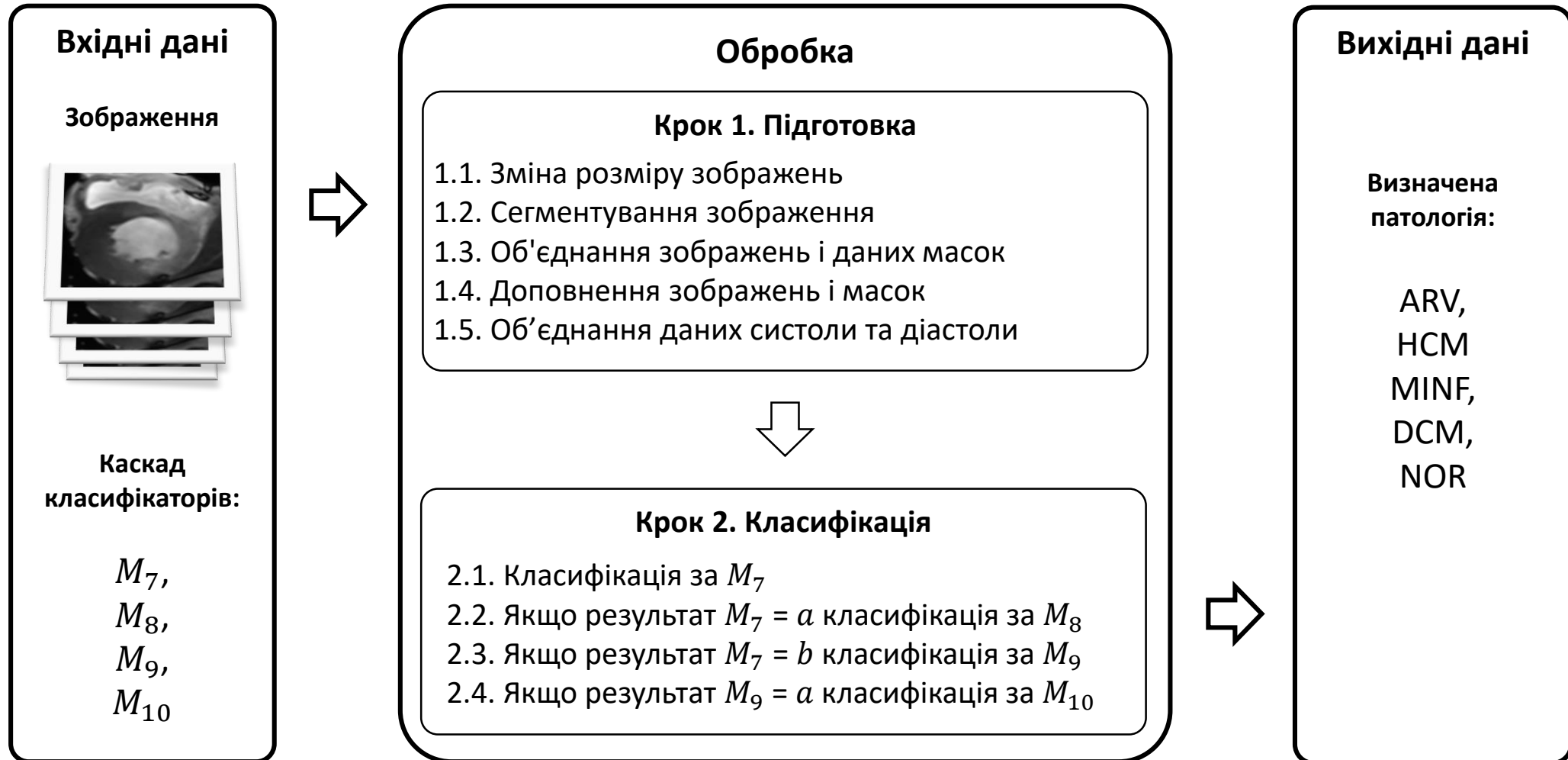
$img_{22} - img_{42}$ – 21 МРТ-зображення (із зрізів вздовж короткої осі) зі діастолічної фази

N – кількість зразків (таких пар) у наборі даних, K – кількість зрізів МРТ зображення для одного пацієнта

НН2. Метод 2:

Каскадна класифікація МРТ зображень

Схема процесу класифікації МРТ зображень



НН2. Метод 2:

Каскадна класифікація МРТ зображень

Результати класифікації МРТ зображень

Автори	Архітектура	Точність
<u>Запропонований метод</u>	ResNet	<u>0.97</u>
Khened та ін.	Random Forest	0.96
Cetin та ін.	SVM	0.92
Isensee та ін.	Random Forest	0.92

(А) Порівняння результатів класифікації з іншими авторами

Метрика	Оцінка
Accuracy	0.97
Precision	0.98
Recall	0.98
F1-Score	0.98

(Б) Метрики запропонованого підходу

НН2. Метод 2:

Каскадна класифікація МРТ зображень

Матриці сплутування для окремих класифікаторів

Класифікатор 1

True label	Predicted label	
	A	B
A	29	1
B	1	19

Класифікатор 2

True label	Predicted label	
	A	B
A	10	0
B	0	10

Класифікатор 3

True label	Predicted label	
	A	B
A	10	0
B	0	10

Класифікатор 4

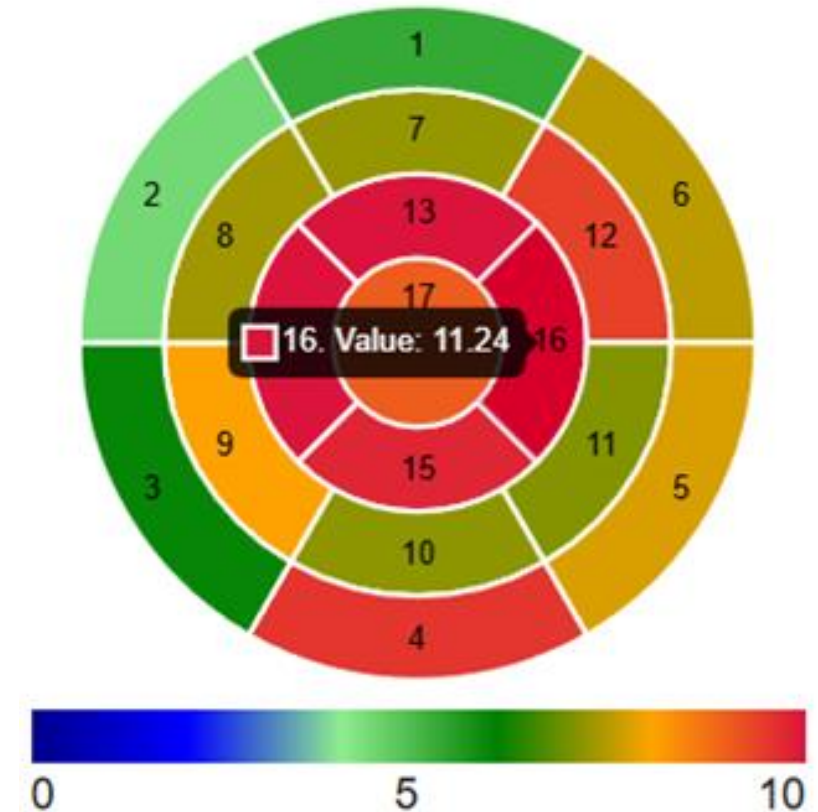
True label	Predicted label	
	A	B
A	9	1
B	1	9

ННЗ. Метод 3:

Пояснення прийнятих рішень

Особливості запропонованого методу

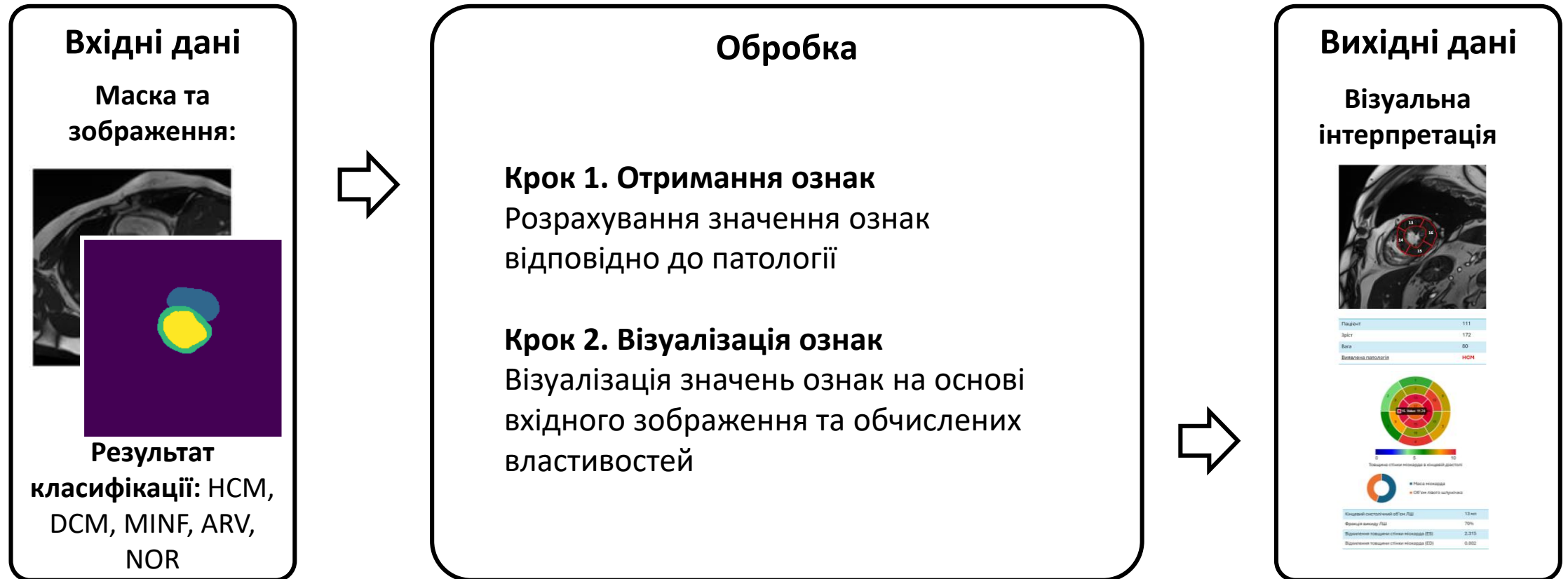
- Перехід від суб'єктивних спостережень лікаря до об'єктивних показників
- Використання даних сегментації окрім класифікації
- Візуалізація у вигляді ознак зрозумілих лікарю



ННЗ. Метод 3:

Пояснення прийнятих рішень

Схема процесу інтерпретації результатів класифікації



ННЗ. Метод 3:

Пояснення прийнятих рішень

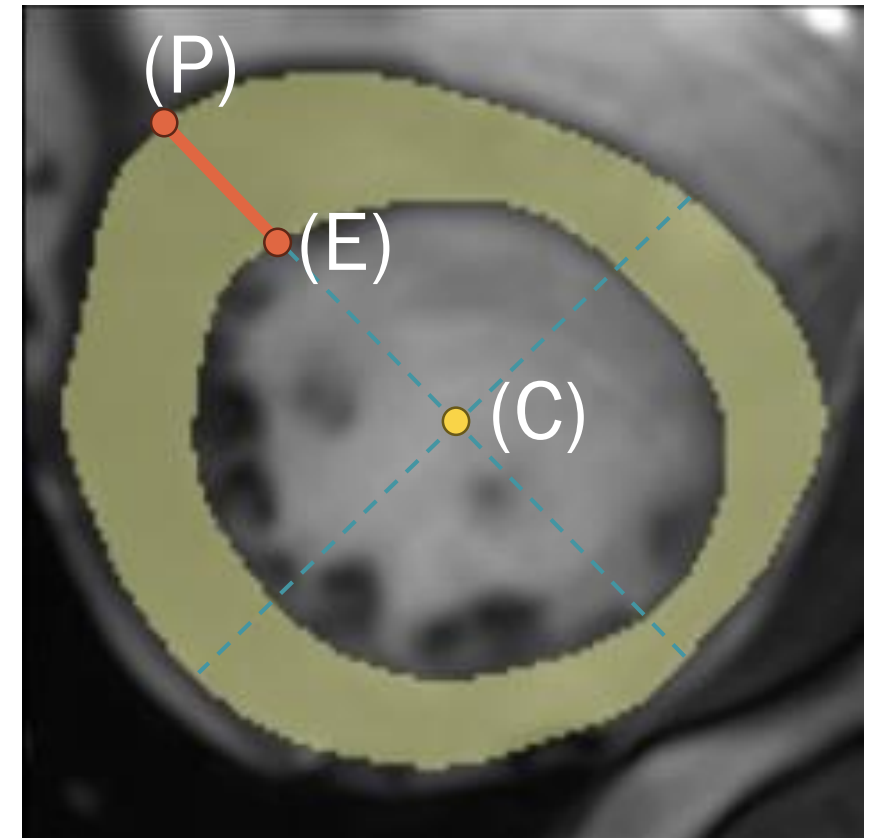
Групи ознак для інтерпретації МРТ зображень

Група 1: Об'єми шлуночків

Група 2: Фракція викиду

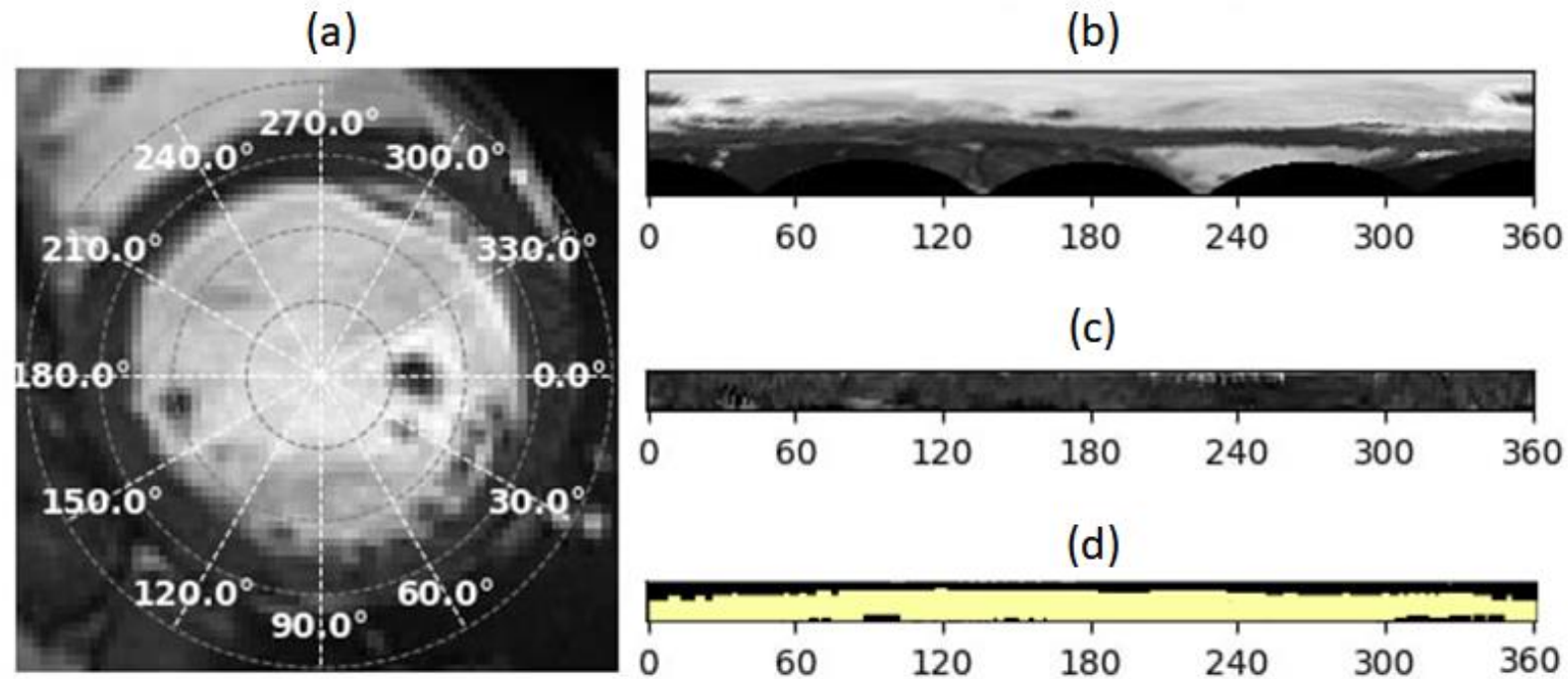
Група 3: Співвідношення об'ємів та маси

Група 4: Товщина та варіабельність стінок міокарда



ННЗ. Метод 3: Пояснення прийнятих рішень

Трансформація МРТ-зображення для визначення товщини міокарда



- a) приклад вхідного зображення з відображенням сітки полярної системи координат;
- b) трансформоване зображення;
- c) обрізане трансформоване зображення відносно маски;
- d) обрізана трансформована маска.

ННЗ. Метод 3: Пояснення прийнятих рішень

Інтерфейс застосунку для аналізу МРТ зображень

