

BelCardioAI

Интеллектуальная система анализа данных экспериментального кардиорегистратора

ИПФ НАН Беларуси · Институт физиологии НАН Беларуси

Заведующий Центром аэрокосмической биомедицины и реабилитации Института физиологии НАН Беларуси,
кандидат медицинских наук, доцент
ЛЕМЕШКО Егор Владимирович
iflemeshko@gmail.com

Проблема

Экспериментальный кардиорегистратор

- Отечественный кардиорегистратор (1/3×ЭКГ + ФПГ) – без серийного ПО и с базовым ИИ-анализом.
- Родственная платформа института уже описана в статье (Лемешко Е.В. и др., 2024).
- Облачные ИИ-сервисы неприемлемы **в случае закрытых систем**: медицинские (и любые другие) данные не должны покидать организацию, особенно в закрытых системах мониторирования состояния здоровья.



BelCardioAI

Интеллектуальный анализ данных экспериментального кардиорегистратора

Разработчики:

Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси

Институт физиологии Национальной академии наук Беларуси

Разработана в рамках ГПНИ «Междисциплинарные и синергетические исследования» («Конвергенция-2030»), подпрограмма 3 «Междисциплинарные исследования и перспективные технологии», задание 3.1.19

Обследуемый: Демо-обследуемый

Дата формирования отчёта: 16.09.2026

Результат сформирован автоматически и не заменяет заключение врача.

BelCardioAI · Демо-обследуемый · частота дискретизации 230 Гц · автоматический анализ, не заменяет заключение врача

Решение

Сфера применения: научные и клинические исследования сердечно-сосудистой системы.

Назначение: для интеллектуального анализа записи, включающей 3 канала ЭКГ и 1 канал ФПГ, и формирования клинического заключения и PDF-отчета.

Потенциальные потребители: учреждения здравоохранения и спортивной медицины, государственные, в том числе ведомственные, и частные.

Предполагаемый объем вложений со стороны партнера: 2 000 000 рублей.

Ориентировочный срок окупаемости: 5 лет.

Текущая стадия развития: разработка ПО для автоматического анализа входящих данных в режиме реального времени.



BelCardioAI

Интеллектуальный анализ данных экспериментального кардиорегистратора

Разработчики:

Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси

Институт физиологии Национальной академии наук Беларуси

Разработана в рамках ГПНИ «Междисциплинарные и синергетические исследования» («Конвергенция-2030»), подпрограмма 3 «Междисциплинарные исследования и перспективные технологии», задание 3.1.19

Обследуемый: Демо-обследуемый

Дата формирования отчёта: 16.09.2026

Результат сформирован автоматически и не заменяет заключение врача.

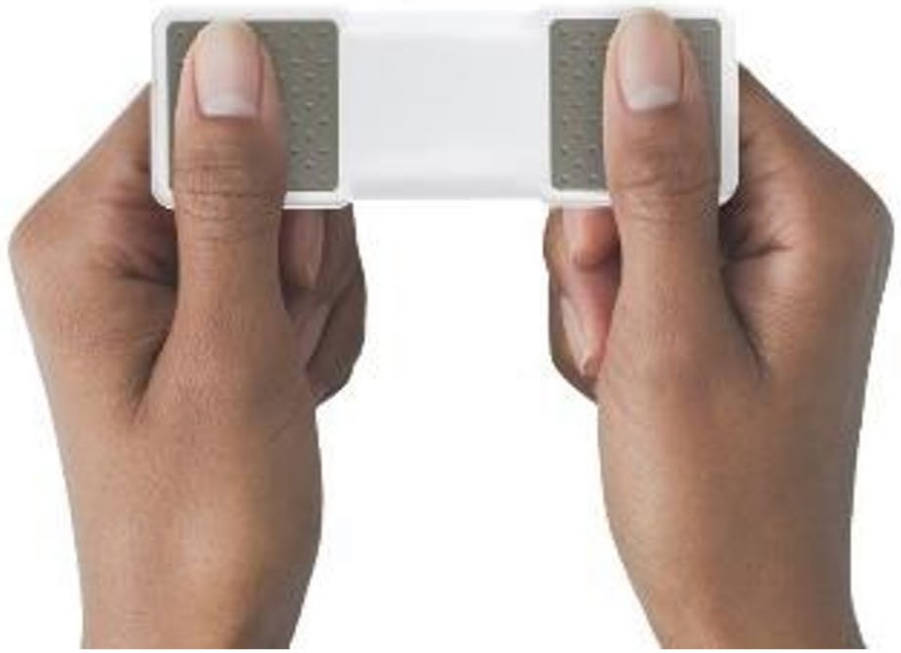
BelCardioAI · Демо-обследуемый · частота дискретизации 230 Гц · автоматический анализ, не заменяет заключение врача

Платформа

Носимые медицинские устройства (НМУ) Института физиологии НАН Беларуси



а)

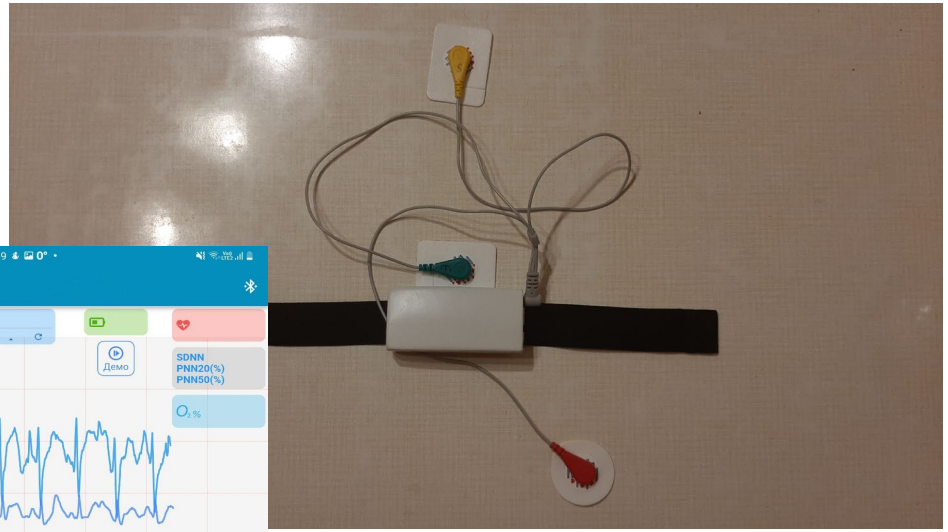


б)

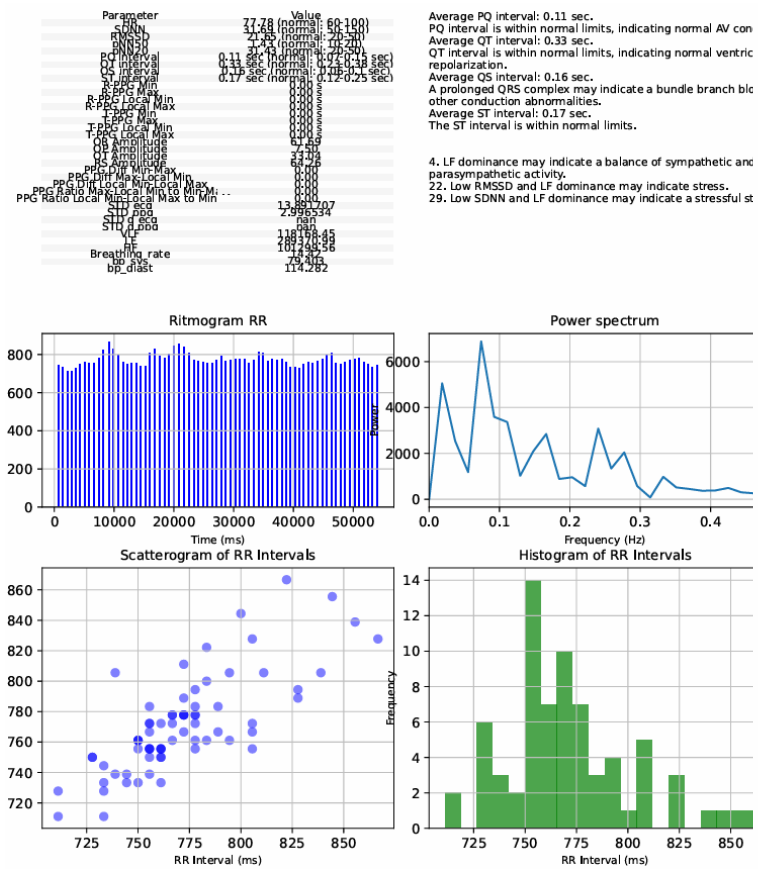
- а) НМУ: 1 отведение ЭКГ, АД, ЧСС, ВСР — на смартфон по Bluetooth;
- б) портативный: + ФПГ, сатурация O_2, температура тела;

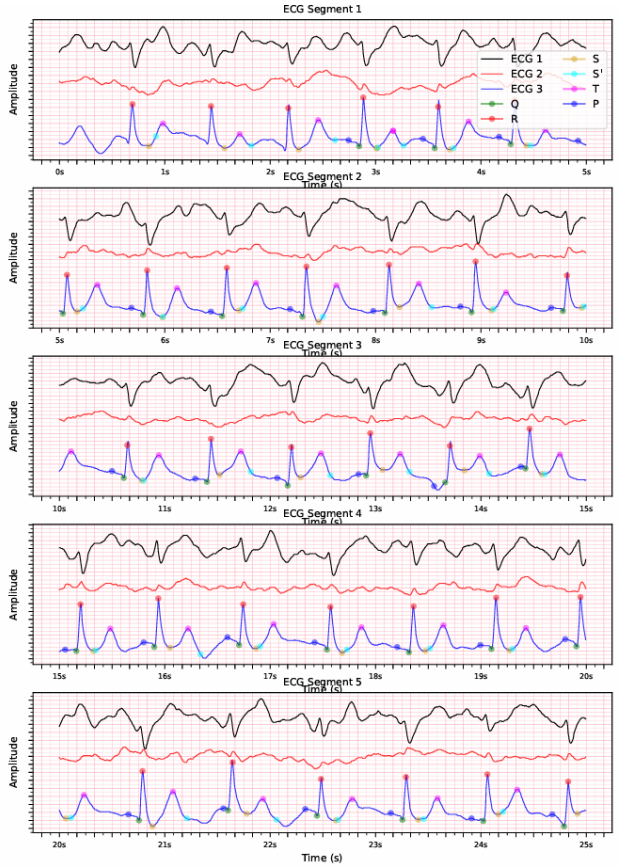
Платформа

Носимые медицинские устройства (НМУ) Института физиологии НАН Беларуси







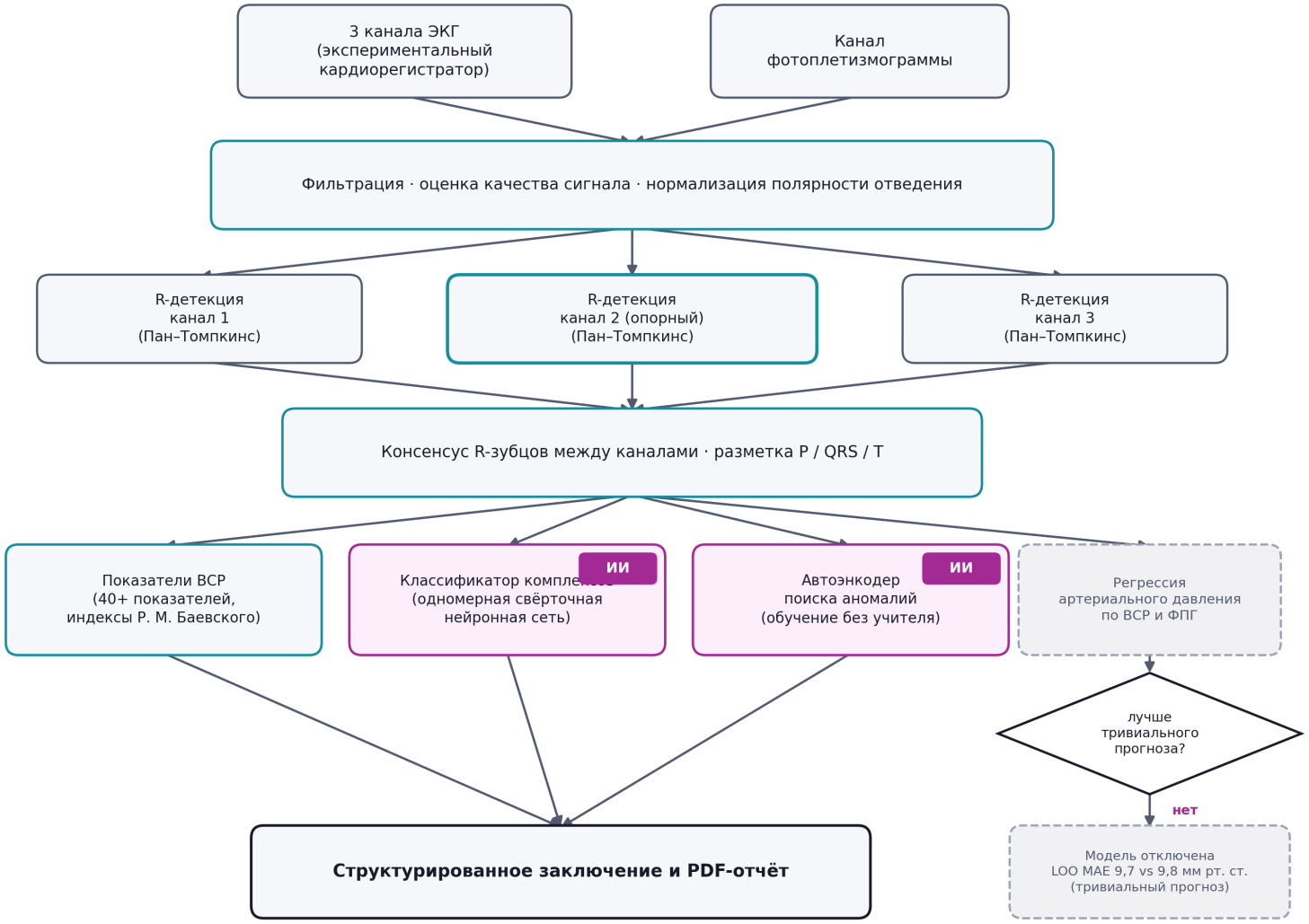


- в) НМУ: 3 отведения ЭКГ, ЧСС, ВСР — на смартфон по Bluetooth

Используемый кардиорегистратор при испытаниях — платформа с 3×ЭКГ + ФПГ.

Решение

Консенсус каналов → 4 направления анализа, 2 из них – обученный ИИ



- 4 независимых направления анализа
- 2 из них – обученный ИИ, локально
- Честная оценка встроена в саму схему

Возможности

Фильтрация и качество сигнала

Удаление дрейфа изолинии и сетевой наводки 50 Гц, полосовая фильтрация ЭКГ и ФПГ, автоматическая оценка качества каждого из трёх каналов ЭКГ для выбора наиболее информативного.

Обнаружение R-зубцов и разметка P-QRS-T

Адаптивный алгоритм Пана-Томпкинса с поиском по соседним каналам при пропусках; автоматическая разметка зубцов P, комплекса QRS и зубца T, расчёт интервалов PQ, QRS, QT/QTc.

Вариабельность сердечного ритма

Более 25 показателей: временная область (SDNN, RMSSD, pNN50), частотная (VLF/LF/HF, LF/HF), нелинейная (SD1/SD2, DFA, энтропия) и индексы Р. М. Баевского (ИН, ИВР, ПАПР, ВПР).

Ритм и аритмии

Классификация комплексов (норма, над-/желудочковая экстрасистолия, артефакт), выявление пауз, эпизодов тахи-/брадикардии, признаков фибрилляции предсердий и нарушений проводимости.

ИИ-модели

1D-CNN классификатор сердечных комплексов и автоэнкодер для поиска нетипичных участков записи; обучены на данных кардиорегистратора и работают полностью локально, без обращения к сети.

Заключение и отчёт

Автоматическое структурированное заключение на русском языке, PDF-отчёт с графиками и таблицами показателей, экспорт в Excel; когортный анализ формирует сводную таблицу по всей выборке обследуемых.

ИИ-компоненты

ИИ

2 обученных компонента искусственного интеллекта

Классификатор комплексов

Сверточная нейросеть классифицирует комплексы по форме сигнала и ритму.

Точность 98,0%.

Автоэнкодер аномалий

Обучается «на лету» прямо на записи, без разметки – находит нетипичные комплексы.

Устойчив к выбросам в данных.

Честная оценка – принцип, а не исключение

Модель хуже тривиального прогноза отключается автоматически – как регрессия давления (канал ФПГ пуст).

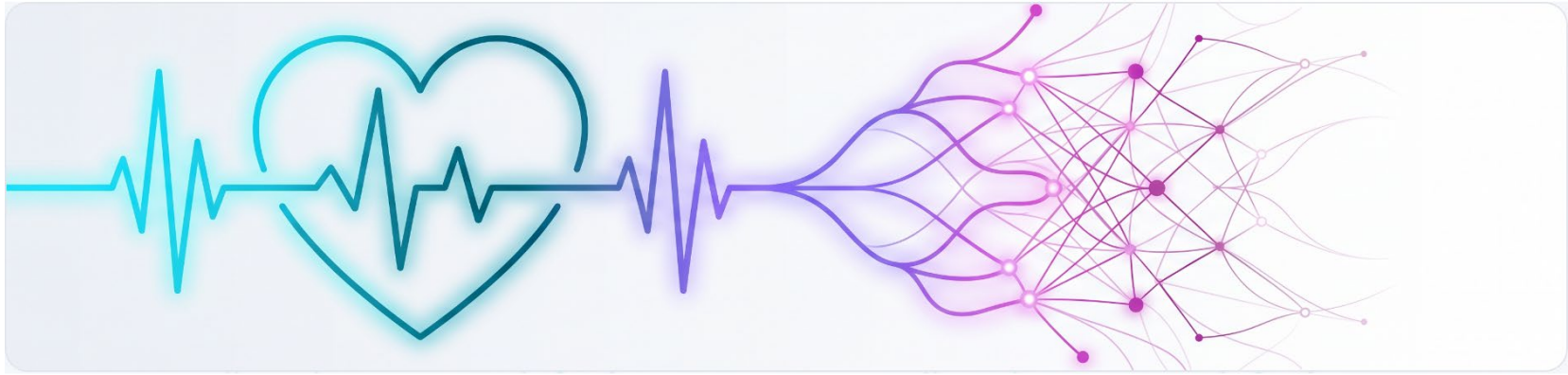
Веб-интерфейс

От каталога записей до PDF-отчета

BelCardioAI

Интеллектуальная система анализа данных экспериментального кардиорегистратора

НАН Беларуси · Институт прикладной физики НАН Беларуси
Институт физиологии НАН Беларуси



BelCardioAI — интеллектуальный программный комплекс для автоматизированного анализа записей экспериментального кардиорегистратора: три канала ЭКГ и канал фотоплетизмограммы (ФПГ). Программа берёт на себя весь путь от «сырых» отсчётов АЦП до готового заключения — очистку и оценку качества сигнала, обнаружение сердечных комплексов и их разметку, расчёт показателей вариабельности сердечного ритма, выявление нарушений ритма и формирование PDF-отчёта, — избавляя исследователя от часов ручной разметки и расчётов в электронных таблицах.

Пример результата

Реальные показатели – данные обезличены

Заключение по записи кардиорегистратора

Обследуемый: Демо-обследуемый

Паспортные данные и параметры записи

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Дата рождения	н/д	Пол	н/д
Возраст, лет	н/д	ИМТ, кг/м²	н/д
Рост, см	н/д	Масса, кг	н/д
АД при осмотре	н/д/н/д мм рт. ст.	Дата обследования	н/д
Длительность записи	10.2 мин	Комплексов QRS	942
Качество ЭКГ (1/2/3)	0.73 / 0.60 / 0.69	Принято RR, %	98

Ритм и вариабельность

Показатель	Знач.	Норма	Оценка
ЧСС средняя	94,57	60,00-90,00	выше нормы
SDNN	56,49	30,00-100,00	норма
RMSSD	46,45	15,00-60,00	норма
pNN50	13,62	3,00-40,00	норма
Коэффициент вариации	8,90	3,00-10,00	норма
Триангулярный индекс	6,34	7,00-30,00	ниже нормы
Индекс напряжения (И	156,9	50,0-150,0	выше нормы
LF/HF	4,21	0,50-2,50	выше нормы

Интервалы ЭКГ, с

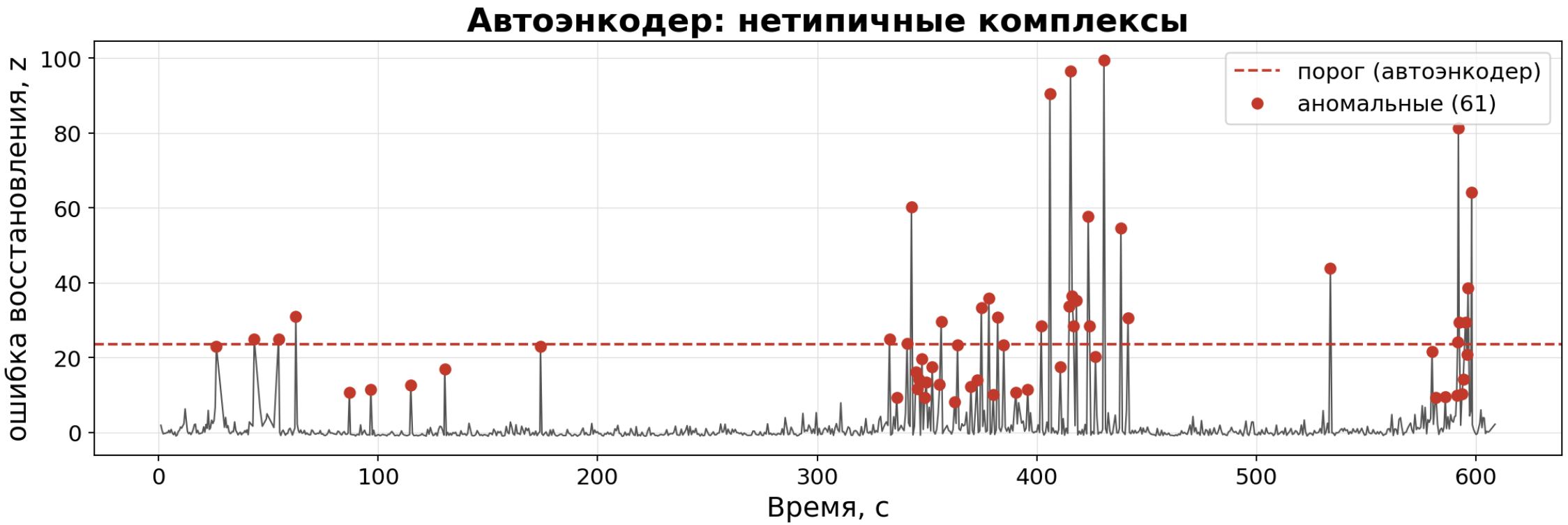
Показатель	Знач.	Норма	Оценка
Длительность P	0,065	0,060-0,110	норма
Интервал PQ (PR)	0,170	0,120-0,200	норма
Комплекс QRS	0,100	0,060-0,100	норма
Интервал QT	0,350	0,300-0,440	норма
QTc (Базетт)	0,433	0,340-0,450	норма
QTc (Фридерисия)	0,403	0,340-0,440	норма

- Паспортные данные и качество каждого канала ЭКГ
- Показатели ритма и ВСР – норма / вне нормы
- ИИ-классификация комплексов + заключение
- PDF-отчет с графиками – за секунды

ИИ: поиск аномалий автоэнкодером

ИИ

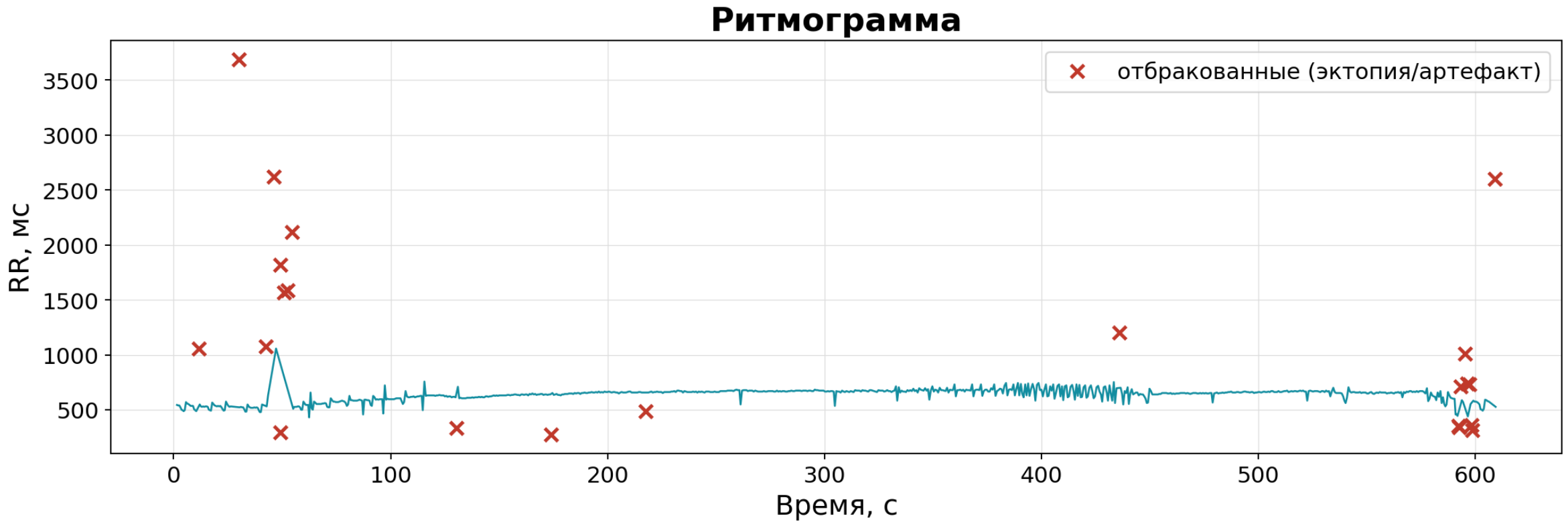
Обучение без учителя – прямо на записи



- Точки выше порога – нетипичные комплексы для проверки врачом.

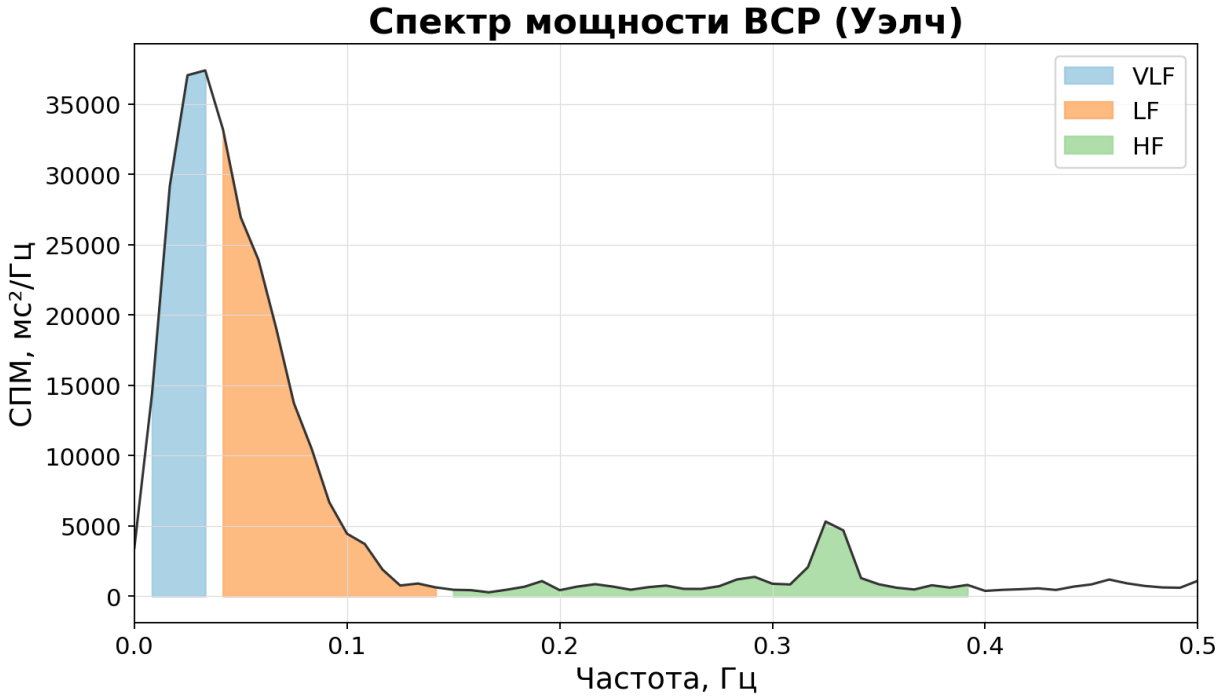
Вариабельность сердечного ритма

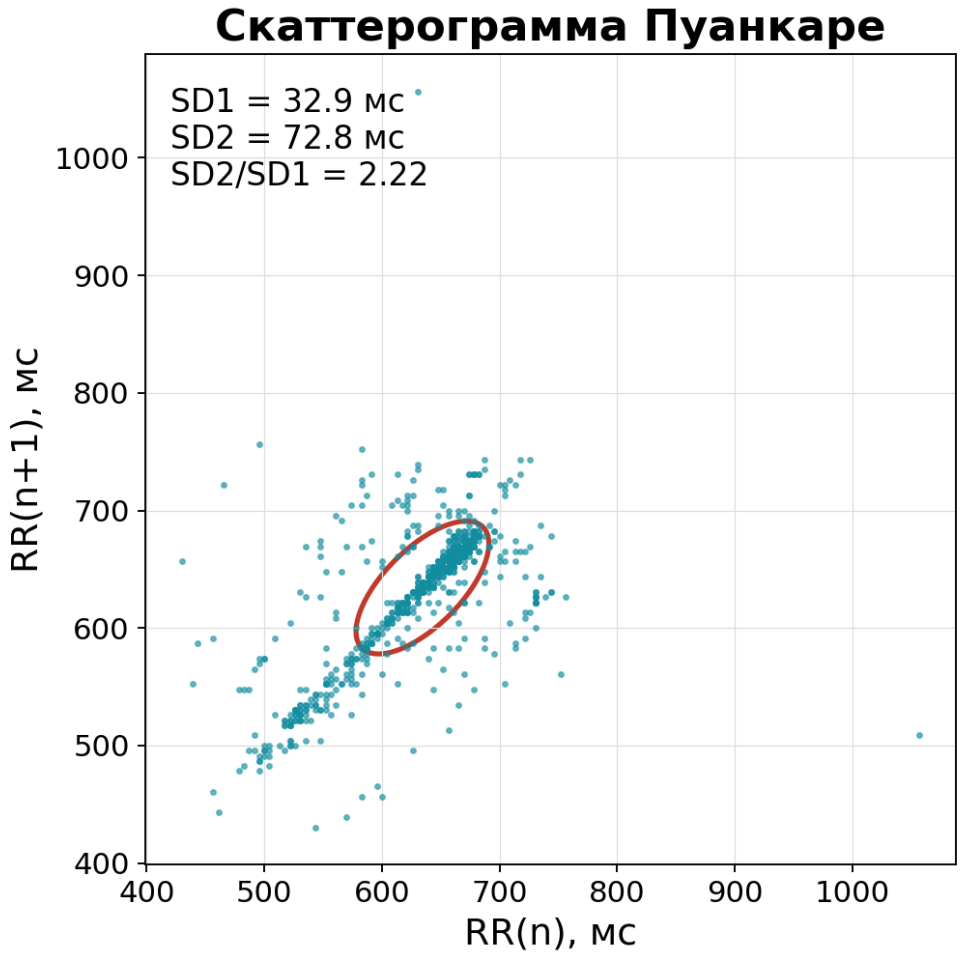
Ритмограмма: RR-интервалы по всей записи



Вариабельность сердечного ритма

Спектральный и нелинейный анализ





Пересчёт 3 → 12 отведений ЭКГ

Формула и коэффициенты (методика EASI/Dower)

$$L = a \cdot ES + b \cdot AS + c \cdot AI$$

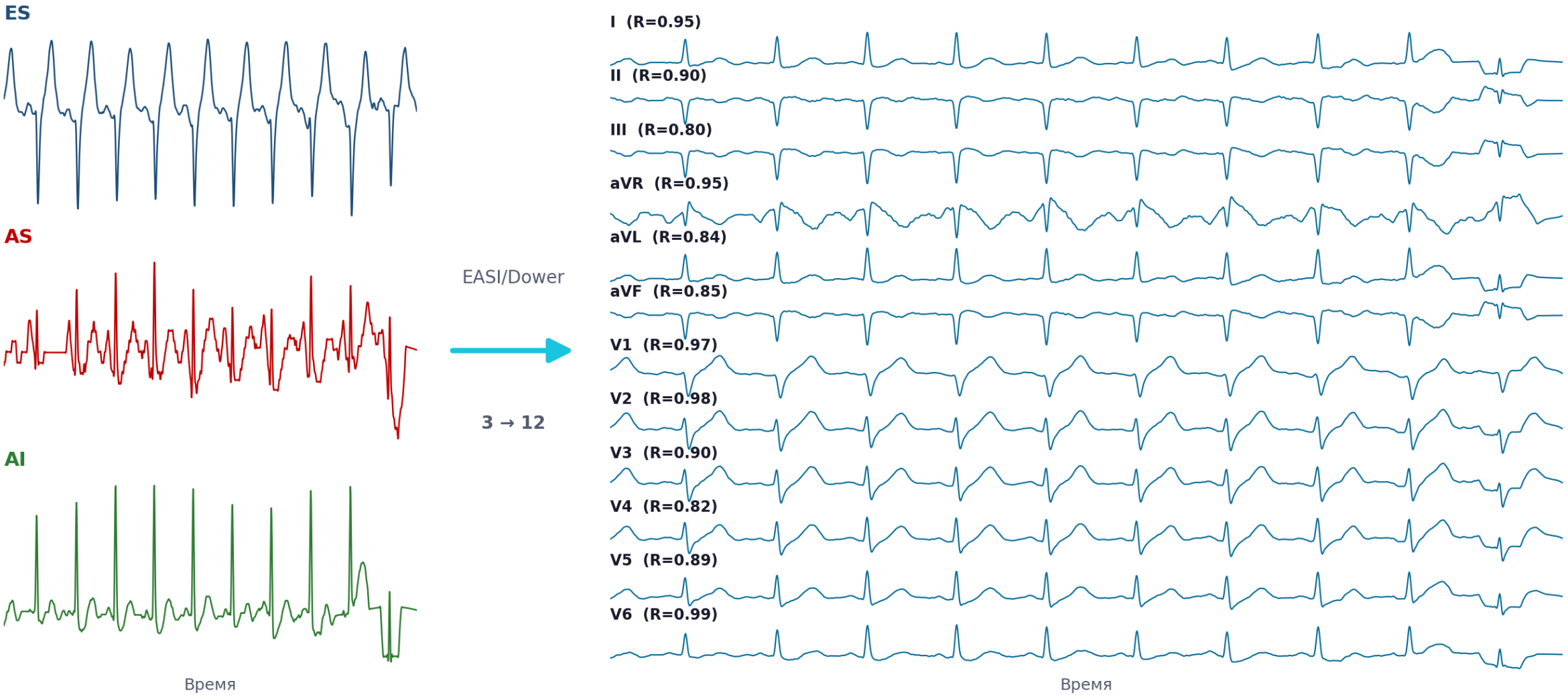
Отведение	a (ES)	b (AS)	c (AI)	R
I	0,049	-0,228	0,754	0,95
II	0,031	1,061	-0,701	0,90
V1	0,608	-0,412	0,046	0,97
V6	-0,005	0,375	0,310	0,99

- Коэффициенты подобраны статистически для каждого отведения (260 записей EASI + ЭКГ-12; Шульгин и др., 2008).
- Соответствие каналов регистратора сигналам EASI подтверждено документацией прибора.
- R = 0,80–0,99 по отведениям — корреляция синтеза с реально записанной ЭКГ.

Пересчёт 3 → 12 отведений ЭКГ

Пример на реальной записи

$$L = a \cdot ES + b \cdot AS + c \cdot AI$$



Реальная запись одного обследуемого, фрагмент 6 с. Слева — 3 канала регистратора (вход), справа — все 12 стандартных отведений (результат), под каждым — R.

Валидация

Результаты проверены количественно

33	3	0,26	98,0%
записей в когорте	метода сверки частоты	уд/мин расхождение ЧСС с эталоном	точность ИИ-классификатора

- Ошибка эталонного ПО в 4 из 33 записей (завышение ЧСС в 1,5–1,65 раза) подтверждена вручную.
- Расхождения ИИ с правиловым разбором идут в отчет как кандидаты для врача, не скрываются.
- Автономная сборка проверена без Python в PATH.

Полная автономность ИИ-слоя

Значимо при работе с медицинскими данными

Без интернета

Обе нейросети – полностью локально.

Без API-ключей

Облачный сервис физически исключен из сборки.

Без Python

Готовый .exe – запуск двойным щелчком.







Разработчики

Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси

Институт физиологии Национальной академии наук Беларуси

Хмарский П. А., Голубева С. А., Наумов А. О., Васюкевич С. Н. · Лемешко Е. В., Губкин С. В.

ГПНИ «Конвергенция-2030», подпрограмма 3, задание 3.1.19

BelCardioAI

Спасибо за внимание!

Лемешко Егор Владимирович

iflemeshko@gmail.com

Заведующий Центром аэрокосмической биомедицины и реабилитации Института физиологии НАН Беларуси,
заместитель научного руководителя задания 3.1.19
+375296211271