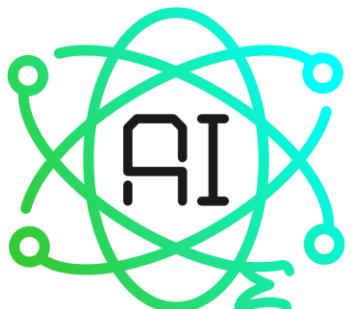


Математика в медицине 2025

Алгоритмы машинного обучения предсказания отдаленных исходов лекарственно-рефрактерной фибрилляции предсердий после проведения аблации атриовентрикулярного узла в сочетании с имплантацией постоянного трехкамерного кардиостимулятора

О.И. Криворотко, Н.Ю. Зятьков, Н.Г. Ложкина, С.Н. Артеменко,
Б.А. Ахыт, С.Ф. Беркинбаев, М.О. Пашимов, К.М. Кошумбаева, М.С. Абдикадиров, С.К. Измаилова



ЛАБОРАТОРИЯ ИН-ТЕХНОЛОГИЙ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
БИОЛОГИЧЕСКИХ, СОЦИАЛЬНО ЭКОНОМИЧЕСКИХ
И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ



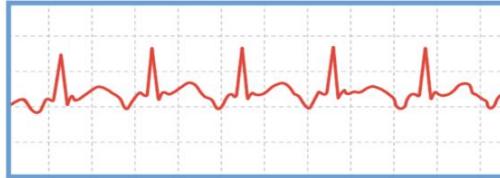
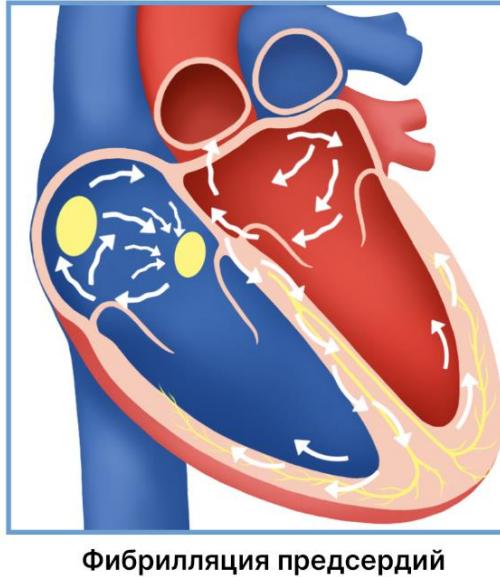
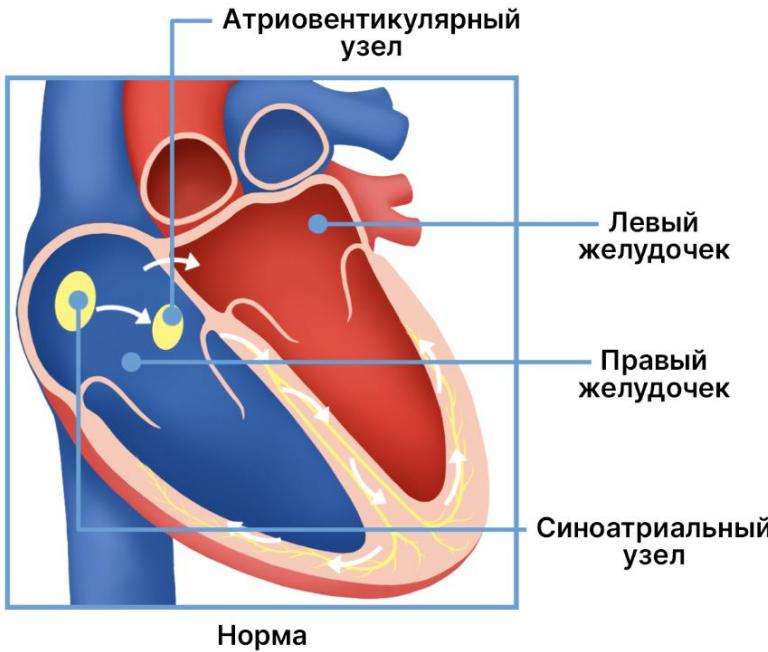
**Институт
Математики**
имени С. Л. Соболева

Москва, 1-2 декабря 2025

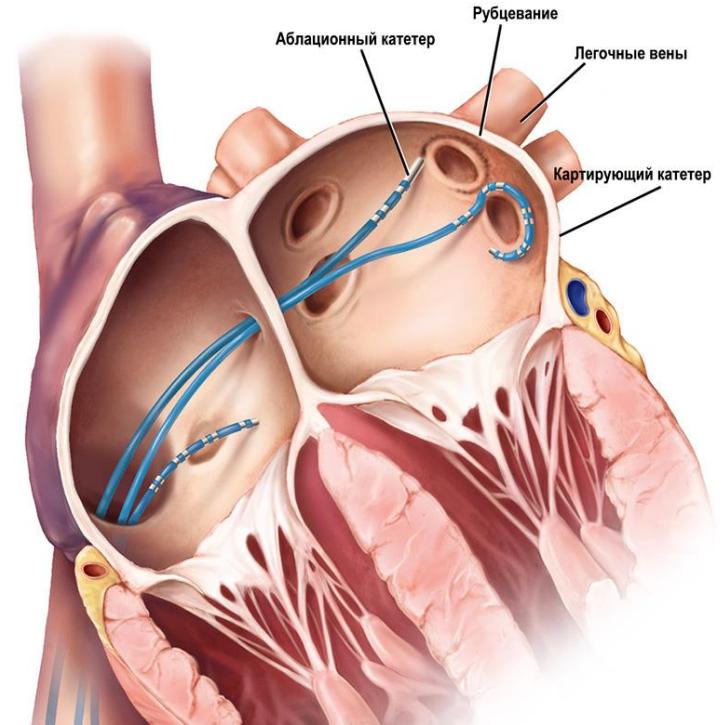
Содержание

- Дизайн исследования
- Обработка и анализ данных - балансировка
- Модель машинного обучения и кросс-валидация
- Методы важности признаков Шэпли
- Результат анализа
- Заключение

Актуальность



Катетерная аблация АВУ – один из способов проведения сердечной ресинхронизирующей терапии



Сочетание ФП с быстрым желудочковым ответом при нормальной проводимости через АВ-узел у пациентов с СН может стать причиной ухудшения гемодинамики и прогрессирования СН!

Цель исследования: определить наиболее значимые факторы риска 5-летней смертности пациентов с пароксизмальной или персистирующей лекарственно-рефрактерной ФП после абляции АВУ в сочетании с имплантацией постоянного трехкамерного кардиостимулятора.

Дизайн исследования



(71 мужчин, 30 женщин)

- Критерий выбора пациентов:**
- 1) Принадлежность к функциональному классу ХСН II-IV степени;
 - 2) Проведена пароксимальная или персистирующая лекарственно-рефракторная ФП.

Эхокардиографическое исследование (ЭХОКГ) проводилось на аппарате Philips EPIQ Elite (Нидерланды) по стандартному протоколу. Объем левого желудочка (ЛЖ) и фракцию выброса ЛЖ оценивали по методу Симпсона в двухмерном режиме.

Электрокардиографию (ЭКГ) регистрировали по стандартной методике в 12 отведениях в состоянии покоя (определяли длительность и морфологию комплекса QRS).



АО "Научно-исследовательский институт
кардиологии и внутренних болезней"



Характеристики данных:

Средний возраст – 62 ± 15.5 лет

Средний ИМТ – $29,8 \pm 2.8 \text{ кг}/\text{м}^2$

Неишемическая ХСН – 36,6%

Ишемическая ХСН – 64,4%

QRS – 91.1 ± 15.5 мс

Класс ХСН II – 8,9%

Класс ХСН III – 69,3%

Класс ХСН IV – 21,8%

Средний показатель фракции выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) – $31,53 \pm 7,7\%$

Артериальная гипертензия – 84,2%

Инсульт – 27,7%

Инфаркт миокарда – 19,8%

Сахарный диабет – 12,9%



13 смертельных случаев
за 5 лет наблюдений

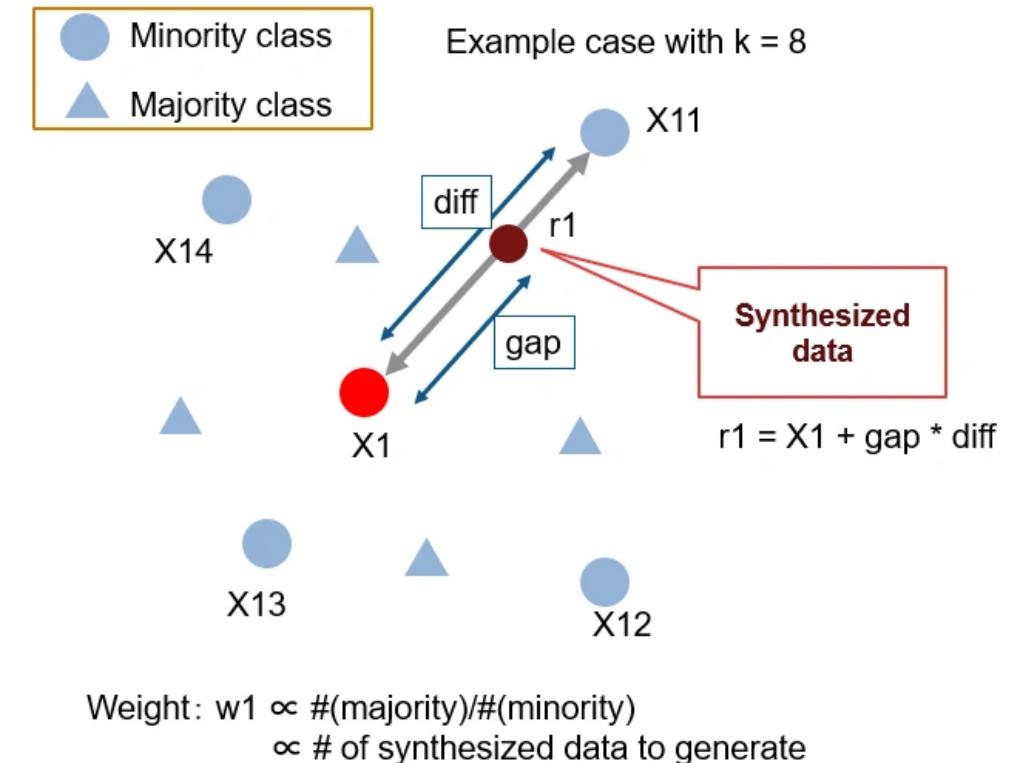
Обработка и анализ данных

Показатели для анализа 5-летних исходов:

1. Возраст
2. Индекс массы тела пациента
3. Ширина QRS комплекса
4. Число метров по тесту 6-минутной ходьбы
5. Степень регургитации на митральном клапане (рег МК)
6. Коэффициент диастолического расслабления (CDR)
7. Коэффициент систолического расслабления (CSR)
8. Фракция выброса левого желудочка на момент включения
9. Среднее давление в легочной артерии
10. Балл по шкале оценки клинического состояния (ШОКС)

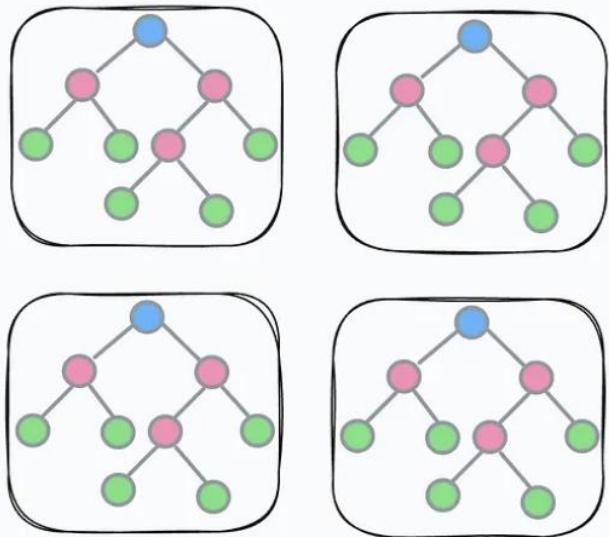
88 выживших
13 умерших

Генерация дополнительных 75 «умерших пациентов» для сбалансированной выборки на основе метода Synthetic minority oversampling technique (SMOTE).



В итоге получаем: 88 выживших и 88 умерших

Математическая модель Random forest



Обучение – 80% случайной
выборки
Тестирование – 20% выборки



Точность на тестовой выборке – 92%
Точность логистической регрессии
на тестовой выборке – 67%

18 выживших
18 умерших



Оптимальные гиперпараметры модели:
Число деревьев – 150
Максимальная глубина – 7
Минимальное число сэмплов для разделения узла – 2
Минимальное число сэмплов в узле – 1

	Предсказано: 0 (жив)	Предсказано: 1 (смерть)
Реально: 0 (жив)	15 человек	3 человека
Реально: 1 (смерть)	0	18 человек

- Все 18 умерших пациентов правильно идентифицированы
- Из 18 предсказанных «живых» верны 15 пациентов
- Модель «перестраховывается», ошибочно предсказывая смерть для 3 выживших пациентов

Анализ Шепли важности признаков на показатель 5-летней смертности

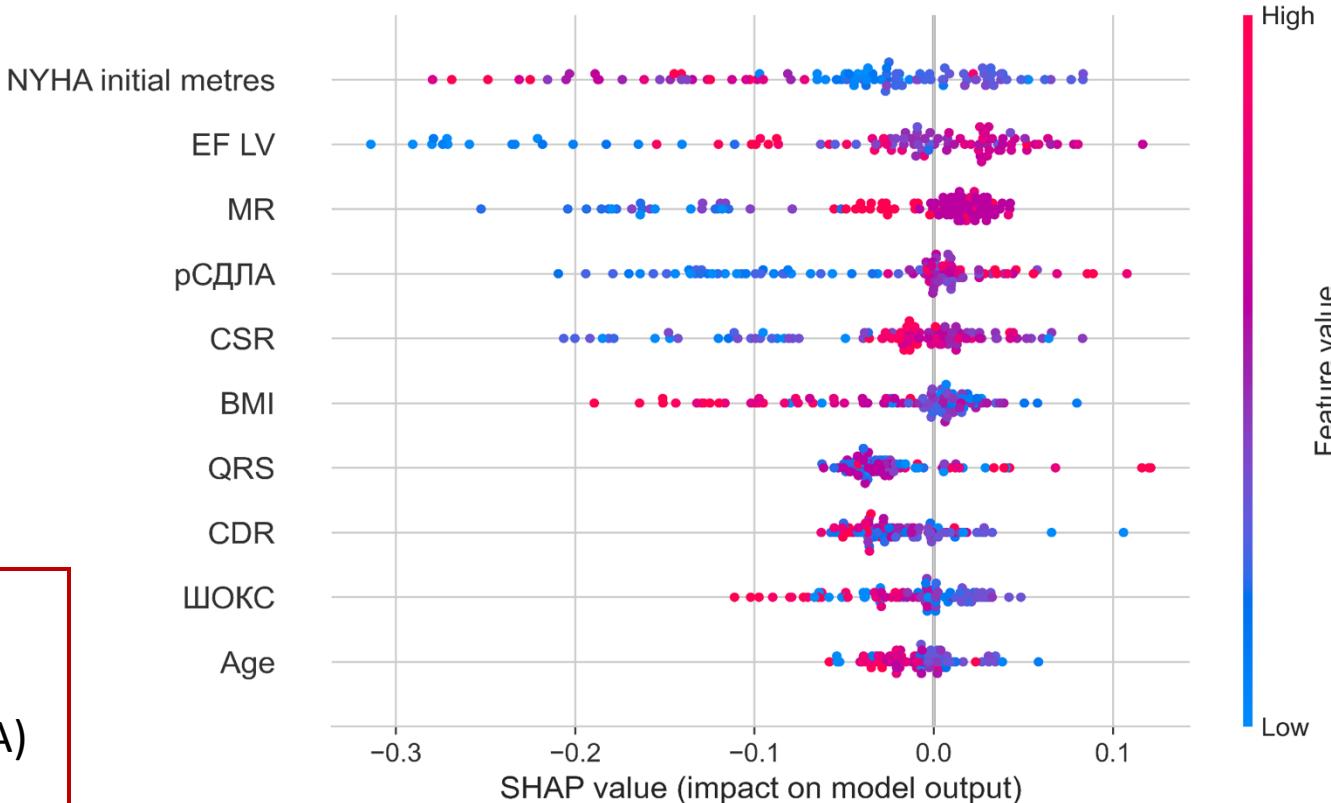
Значение Шепли $s(i)$ признака i — это его вклад в целевое значение (5-летняя смертность), взвешенный и суммированный по всем комбинациям значений признаков:

$$s(i) = \sum_{F \subset \{1, \dots, n\} \setminus i} \frac{|F|! (n - |F| - 1)!}{n!} (p(F) - p(F \cup \{i\})).$$

Здесь $p(F)$ — прогнозирование модели с заданным набором 10 признаков F , включенных в исследование.

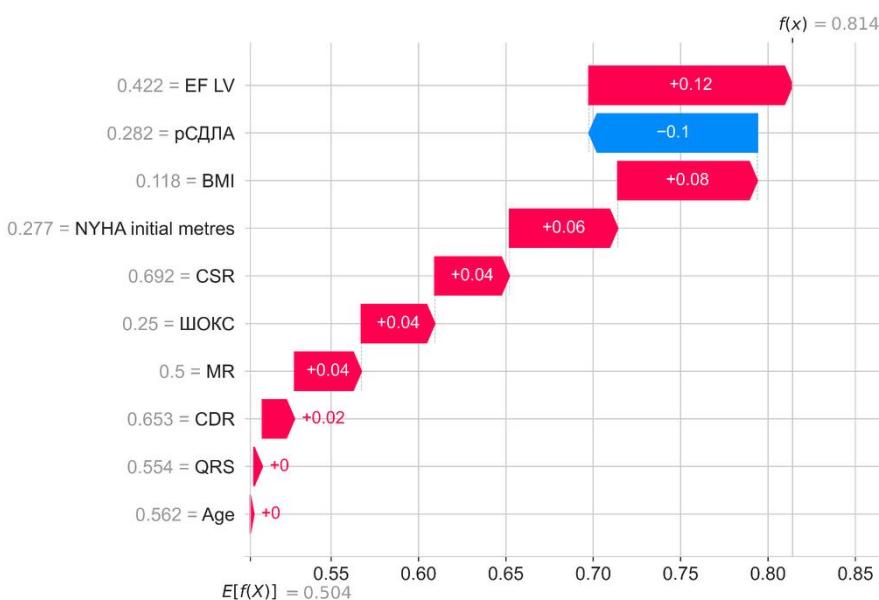
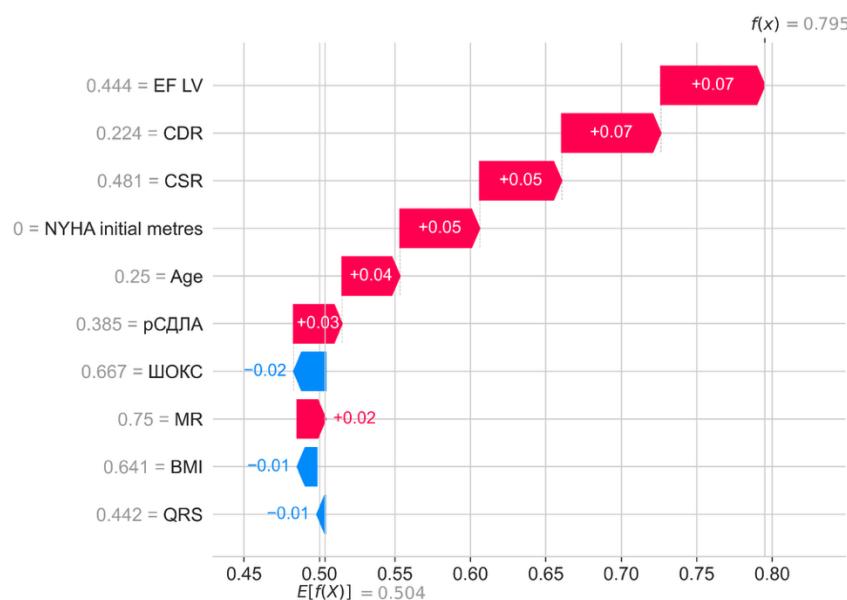
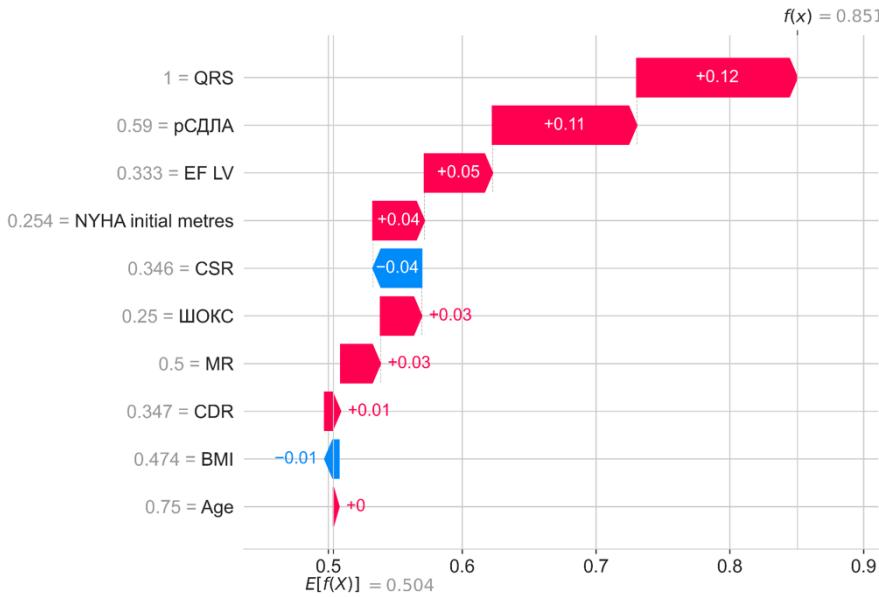
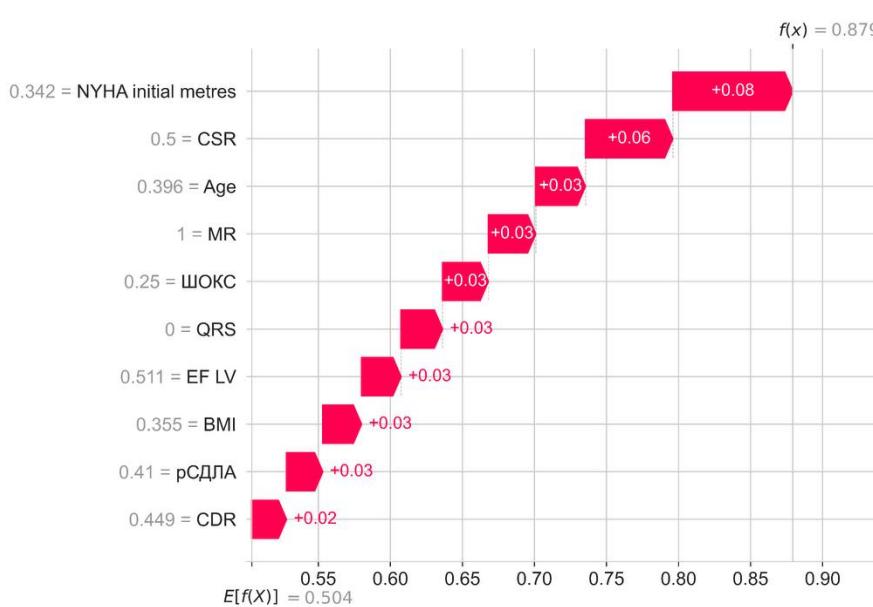
Значимые факторы 5-летней смертности:

1. Фракция выброса левого желудочка (EF LV)
2. Значение теста 6-минутной ходьбы в метрах (NYHA)
3. Среднее давление в легочной артерии (рСДЛА)
4. Коэффициент систолического расслабления (CSR)
5. Степень регургитации на митральном клапане (MR)



Значение показателя Шепли, упорядоченное по значимости. Чем больше значение показателя (красные точки), тем сильнее его влияние на 5-летнюю смертность. Например, NYHA обратно пропорционально влияет на целевое значение.

Персонализированные оценки моделирования «умерших» пациентов

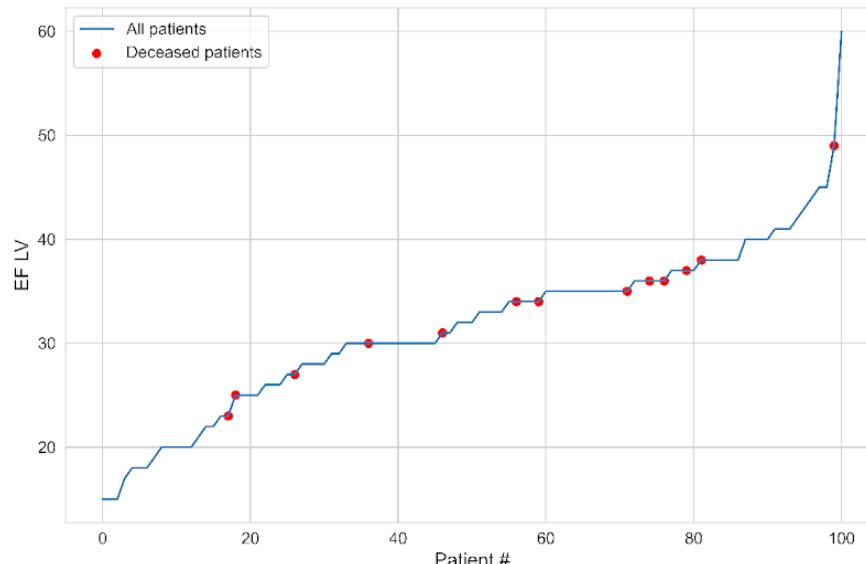


Цветные цифры-подписи и их интерпретация в виде цветной полосы – это SHAP-значение каждого показателя: чем выше их положительное значение, тем больший вклад они вносят в прогноз смертельного исхода у конкретного пациента, а чем ниже их отрицательное значение, тем меньше их вклад в положительный исход.

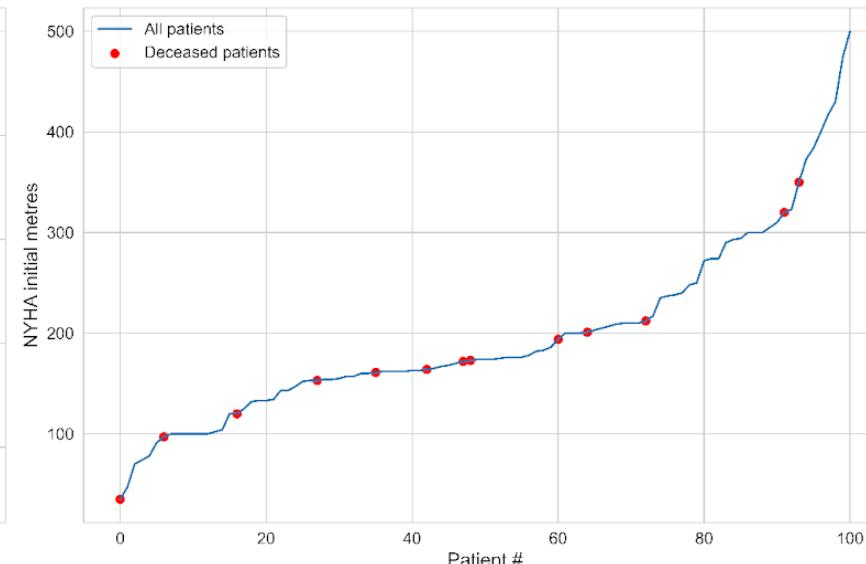
Рядом с каждым показателем отображено его нормализованное значение от 0 до 1 по всем показателям у 101-го пациента.

Заключение

1. В настоящей работе изучен долгосрочный прогноз и выделено 5 наиболее значимых факторов 5-летней смертности пациентов с пароксизмальной или персистирующей лекарственно-рефрактерной ФП после аблации АВУ в сочетании с имплантацией постоянного трехкамерного кардиостимулятора: EF Simp init. (фракция выброса левого желудочка), NYHA Initial metres (значение теста 6-минутной ходьбы в метрах), рСДЛА (среднее давление в легочной артерии), CSR (коэффициент систолического расслабления), MR (степень регургитации на митральном клапане).
2. Линейной зависимости показателей на исход 5-летней выживаемости не наблюдается (красные точки – умершие пациенты), поэтому нелинейный анализ (модели машинного обучения) оправдан.



Фракция выброса левого желудочка



Тест 6-минутной ходьбы в метрах

Спасибо за внимание!



О.И. Криворотько
krivorotko.olya@mail.ru
+7-983-303-3083