

**ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В АНАЛИЗЕ  
ОДНОКАНАЛЬНОЙ ЭКГ  
РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

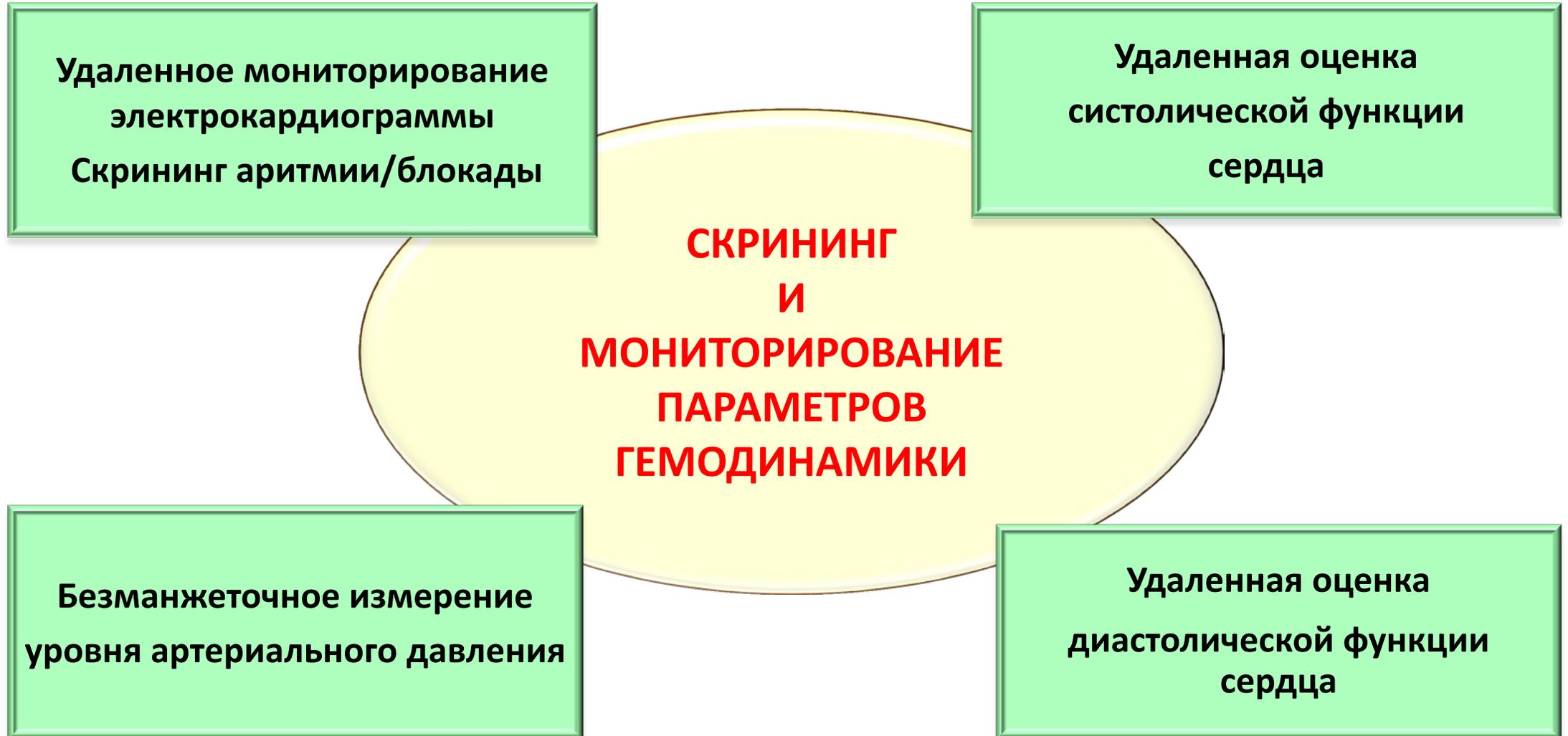
**ПРОФЕССОР ЧОМАХИДЗЕ ПЕТР ШАЛВОВИЧ**

**СЕЧЕНОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ. ИНСТИТУТ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ КАРДИОЛОГИИ**

# Особенности диагностики сердечно-сосудистых заболеваний



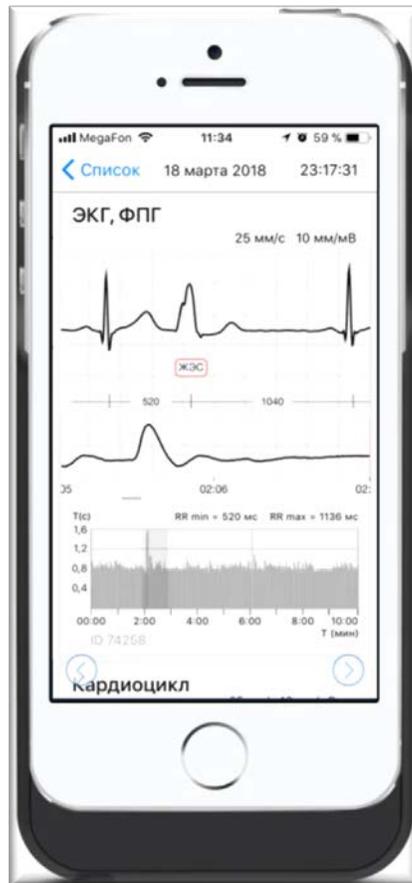
# Элементы удаленного скрининга/мониторирования



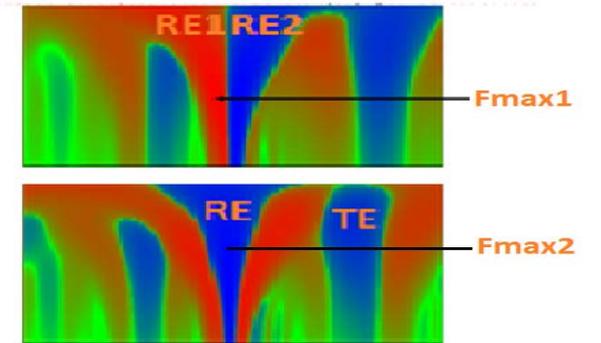
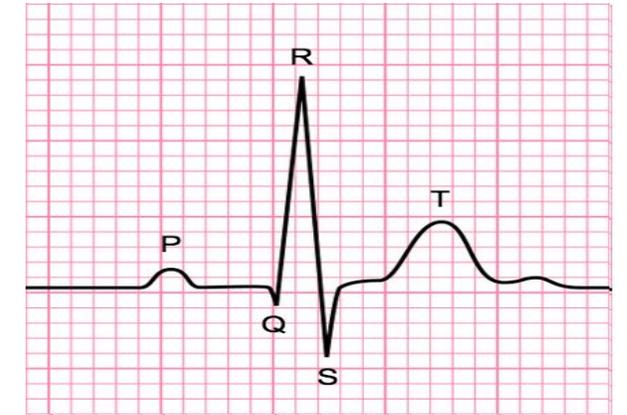
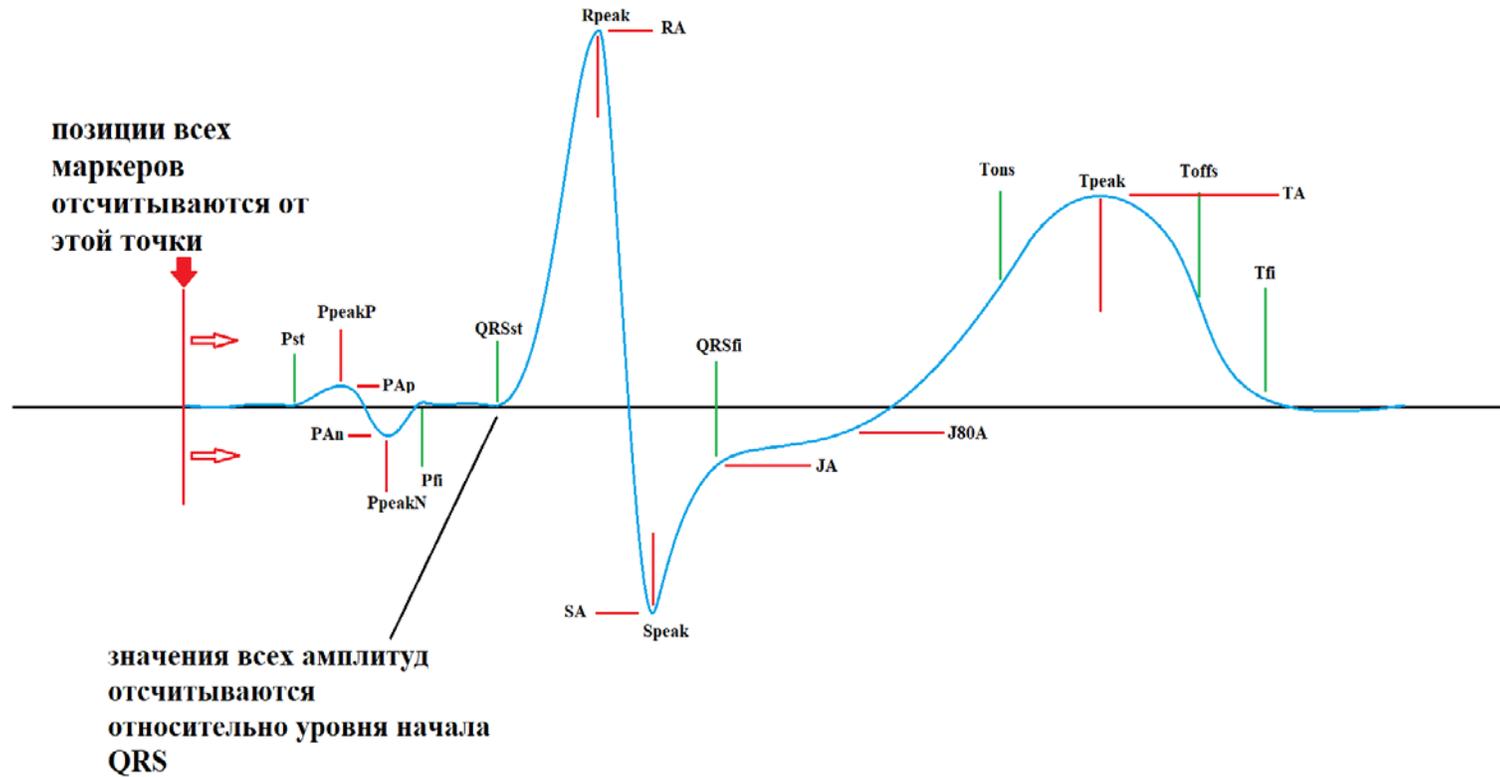
# Наиболее доступные биосигналы

ЭКГ – один канал

Пульсовая волна



# Комплексный анализ ЭКГ, недоступный врачу



Более 200 параметров одного усредненного цикла ЭКГ

# Комплексный анализ пульсовой волны

## АНАКОРДА (амплитуда, угол)

- ✓ макс. систолическое давление
- ✓ состоятельности систолической ф-ции
- ✓ состояние АК
- ✓ уровень АД

## Дикротическая волна

(за счет эластичности аорты и крупных арт.)

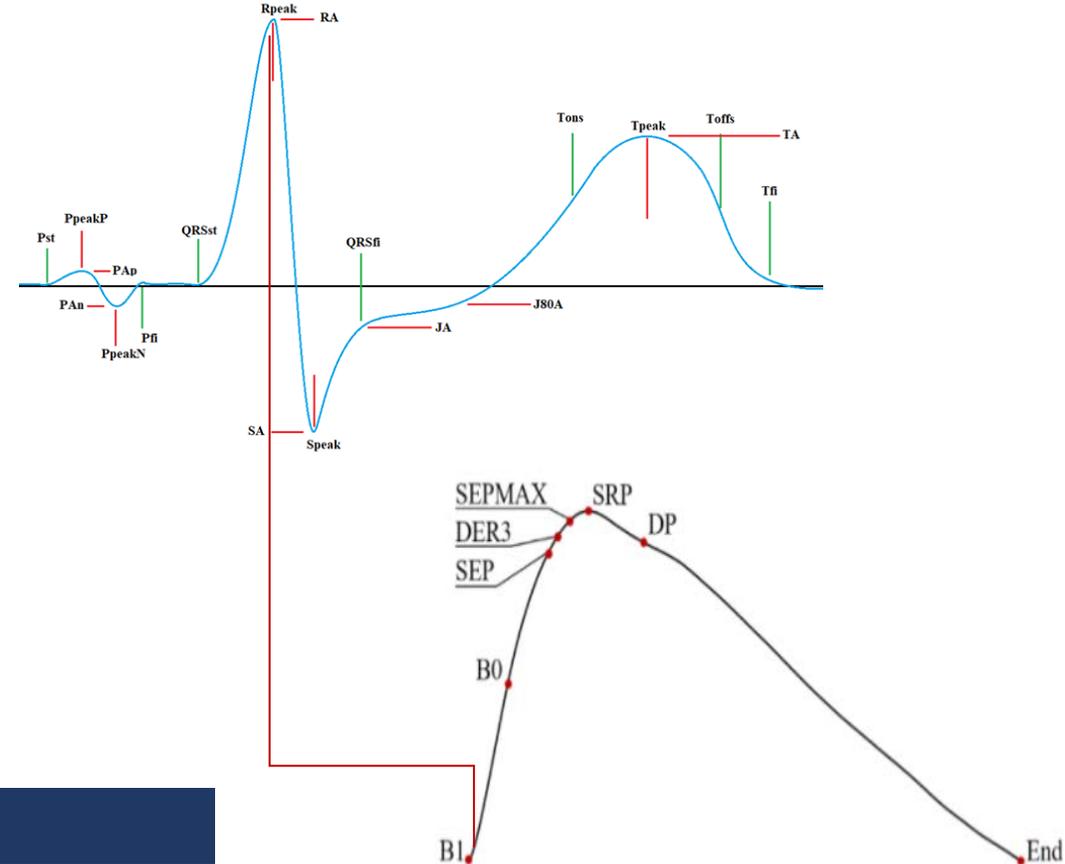
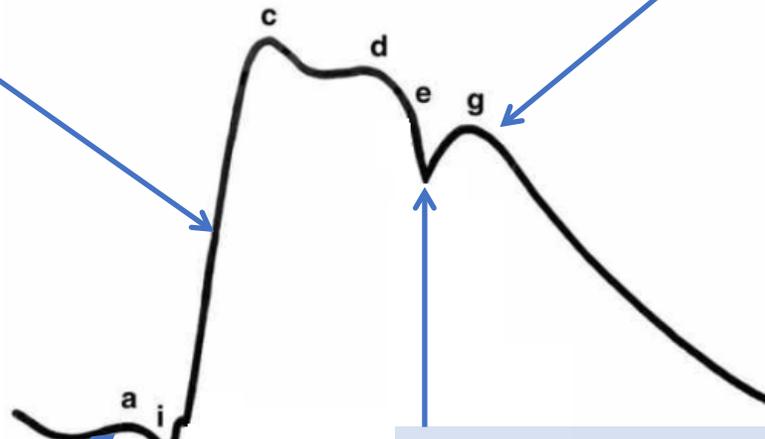
- ✓ тонус артериальной стенки
- ✓ склероз стенок аорты и крупных артерий
- ✓ уровень АД
- ✓ недостаточность АК

## Систола предсердий

- ✓ выявление ФП
- ✓ риск ФП ?

Изометрическое напряжение

Закрытие аортального клапана



Еще не менее 100 параметров

# Применение элементов машинного обучения

**Машинное обучение** – подмножество искусственного интеллекта, связанное с созданием алгоритмов, которые могут меняться без вмешательства человека для получения необходимого результата.

## **Этапы построения моделей машинного обучения:**

- подготовка данных,
- обучение нескольких разных алгоритмов моделей,
- оценка прогностических качеств полученных моделей.

## **Модели машинного обучения, примененные в нашей работе**

- Регрессия Лассо
- «Random Forest»
- *Метод опорных векторов*
- «Дерево решений»

## РЕЗУЛЬТАТЫ

---

# Оценка диастолической функции левого желудочка

Всего пациентов включено в исследование:	1556	Набор пациентов	2019-22 г.г.
Обучающая выборка:	956	Разработка алгоритма	2022 г.
Тестовая выборка	300	Апробация алгоритма	2022-23 г.г.
Выборка для клинической апробации	300		

Характеристика	Обучающая выборка (% от n)	Тестовая выборка (% от n)
Мужской пол	59,8%	43,5%
Средний возраст, лет	57,4±17,2	53,2±18,1
Артериальная гипертензия	63,4%	46,0%
Ишемическая болезнь сердца	26,6%	34,0%
Перенесенный инфаркт миокарда	18,7%	22,0%
Курение в течение ≥5 лет до включения	19,3%	8,5%
Сахарный диабет	14,9%	5,5%
Фибрилляция предсердий	6,4%	2,5%
Хроническая сердечная недостаточность	13,6%	22,0%
I функционального класса по NYHA	1,4%	1,5%
II функционального класса по NYHA	6,4%	16,5%
III функционального класса по NYHA	5,4%	4,0%
IV функционального класса по NYHA	0,4%	0
Диастолическая дисфункция, определенная по ЭХОКГ	31,2%	35%
Значимая диастолическая дисфункция (2 и 3 степень)	9,6%	9,0%

**Примененные модели МО:**

**Регрессия Лассо**  
 Ч=92.3%, Сп=78,7%, AUC: 0.855

**«Случайный лес»**  
 Ч=92.3%, Сп= 73.5%, AUC: 0.809

**Метод опорных векторов**  
 Ч=92,3%, Сп=71,3%, AUC: 0.810

**«Многослойный перцептрон»**  
 Ч=61,5%, Сп=91,2%, AUC: 0.643

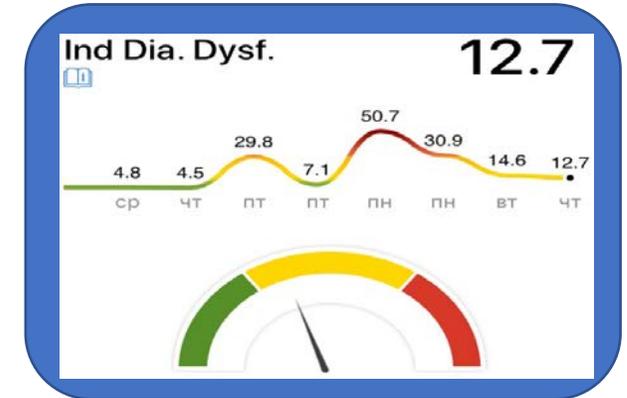
**«Дерево решений»**  
 Ч=50,0%, Сп=82,1%, AUC: 0.591

# Оценка диастолической функции левого желудочка

## Апробация модели

Тестовая выборка – 300 пациентов

*у 36% из них выявлена ДД ЛЖ*



Показатель	ДД ЛЖ 2 и 3 степени	ДД ЛЖ 2 степени	ДД ЛЖ 3 степени
Чувствительность (%)	95,6	98,3	87,5
Специфичность (%)	97,7	97,8	99,5
Диагностическая точность (%)	<b><u>96,5</u></b>	<b><u>97,5</u></b>	<b><u>99,0</u></b>

# Оценка систолической функции левого желудочка

Всего пациентов включено в исследование:	882	Набор пациентов	2019-22 г.г.
Обучающая выборка:	382	Разработка алгоритма	2022 г.
Тестовая выборка	250	Апробация алгоритма	2022 г.
Выборка для клинической апробации	250		

Характеристика	Обучающая и тестовая выборка (% от n)	Выборка для клинической апробации (% от n)
Мужской пол	59,9%	47%
Средний возраст, лет	56,2±17,4	56,3±19,2
Артериальная гипертензия	61,8%	69.2%
Ишемическая болезнь сердца	23,6%	55.6%
Перенесенный инфаркт миокарда	17,6%	28.1%
Курение в течение ≥5 лет до включения	18,3%	11,5%
Сахарный диабет	13,9%	5,5%
Фибрилляция предсердий	3,4%	6.2%
Хроническая сердечная недостаточность	30,2%	46.2%
I функционального класса по NYHA	1,8%	5.5%
II функционального класса по NYHA	22,4%	33,3%
III функционального класса по NYHA	6,0%	8,2%
IV функционального класса по NYHA	0,0%	0
Систолическая дисфункция, определенная по ЭХОКГ	32,5%	34,6%

## Оценка систолической функции левого желудочка

Комбинации параметров ЭКГ и ФПГ были достоверно взаимосвязаны со снижением ФВ: RonsF\*, LVET, PEP, DP-SEP, RonsF-SEPMAX-B0, RonsF-SEPMAX-SEP...

(AUC=0,877, Se 86%, Sp 85%)

Внедрение алгоритма на сервер

Апробация модели

Тестовая выборка – 300 пациентов. У 18% из них выявлено снижение ФВ ЛЖ

Показатель	ФВ ЛЖ ниже нормы (n=35)	ФВ ЛЖ ниже 41% (n=10)	ФВ ЛЖ ниже 30% (n=5)
Чувствительность (%)	89,2	70,0	80,0
Специфичность (%)	96,9	97,8	98,9
<b>Диагностическая точность (%)</b>	<b>94,1</b>	<b>95,1</b>	<b>98,0</b>

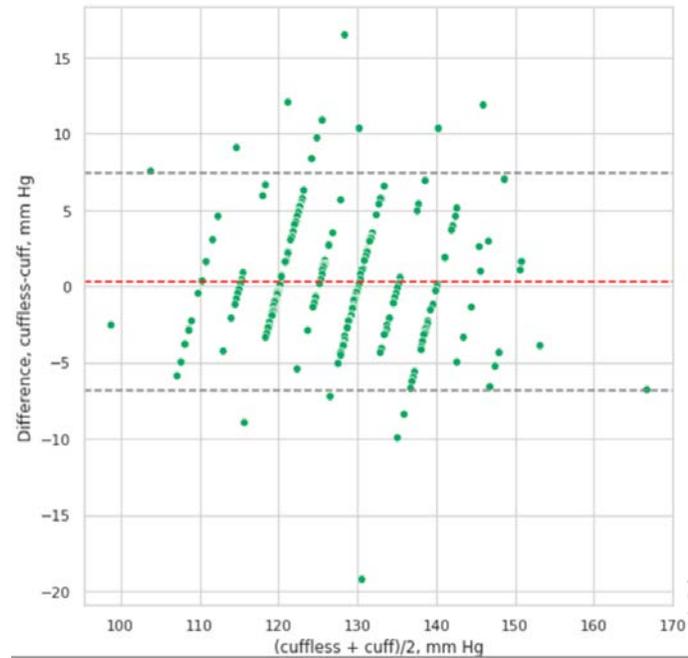
# Безманжетное измерение уровня артериального давления

<b>Всего пациентов включено в исследование:</b>	<b>1080</b>	<b>Набор пациентов</b>	<b>2018-21 г.г.</b>
<b>Обучающая выборка:</b>	<b>680</b>	<b>Разработка алгоритма</b>	<b>2021 г.</b>
<b>Тестовая выборка</b>	<b>200</b>	<b>Апробация алгоритма</b>	<b>2022 г.</b>
<b>Выборка для клинической апробации</b>	<b>200</b>		

<b>Параметр</b>	<b>Обучающая и тестовая выборка (% от n)</b>	<b>Выборка для клинической апробации (% от n)</b>
<b>Средний возраст</b>	67,5±7.9	66,1±8.8
<b>Курение</b>	33.4	28,0
<b>Мужской пол</b>	42.0	44,0
<b>ИМП</b>	28.3±8,8	26,9±8,6
<b>Сахарный диабет</b>	12.8	10,0
<b>Повышенная жесткость сосудистой стенки</b>	10.7	16,0
<b>Артериальная гипертензия</b>	64.8	66,0
<b>Инсульт в анамнезе</b>	3.8	4,0

# Безманжетное измерение уровня артериального давления

## Анализ Бланда-Альтмана



### Корреляция

0.87 для САД

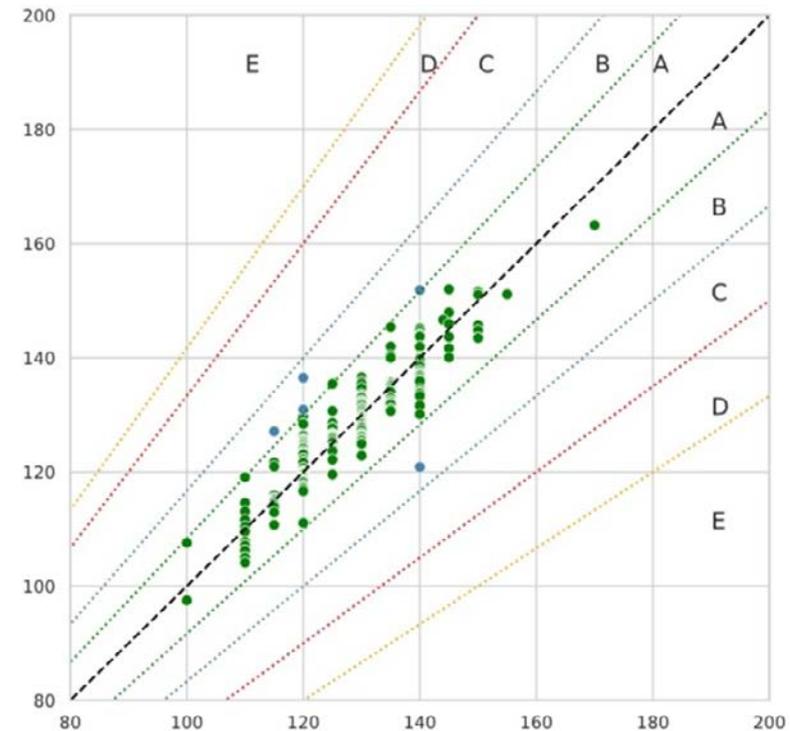
0.88 для ДАД

### Средние различия

$0.32 \pm 3.63$  для САД

$0.35 \pm 2.95$  для ДАД

## Зональный анализ Кларка



Не ошибок в зонах С, D и E

# Практическое применение системы скрининга

## Всего 747 ЭКГ

Непригодны для анализа	10 ЭКГ
Удовлетворительного качества	98,7% ЭКГ:
ФП	19 пациентов
Значимая диастолическая дисфункция	73 пациента
Другие нарушения ритма и проводимости	58 пациентов

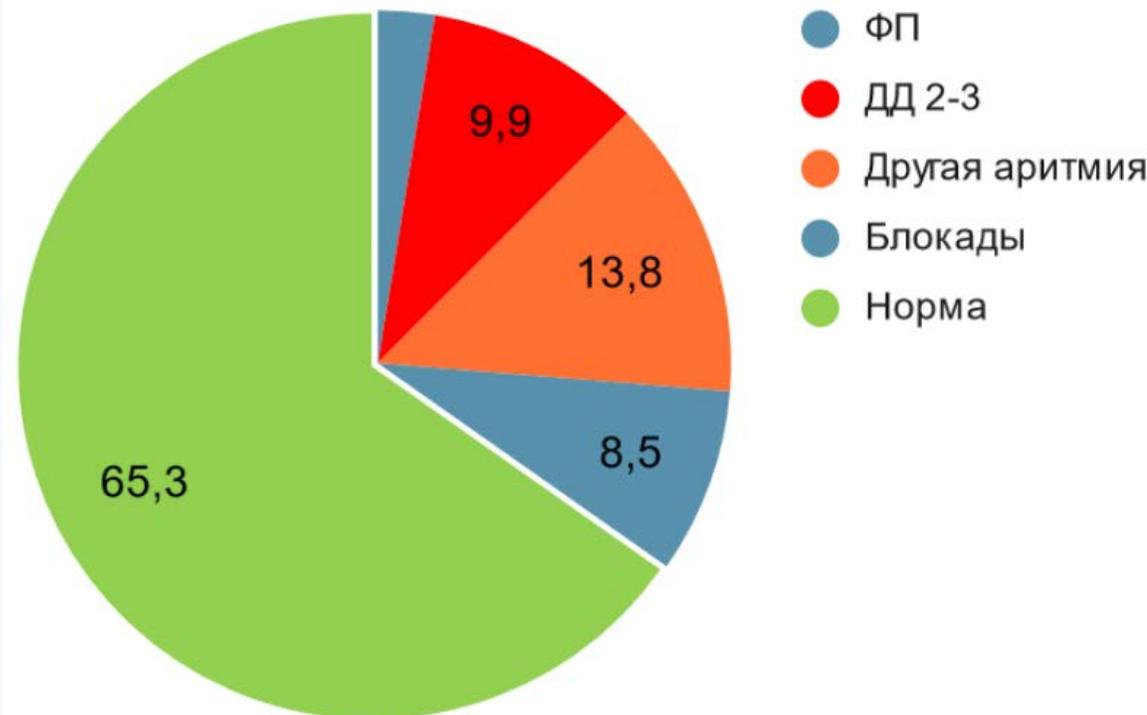
Приглашено на консультацию 388 человек:

**39 пациентов не знали о своей патологии, в том числе 9 человек с ФП!**

**Ложно положительный результат – 4,2% пациентов**

**Ложно отрицательный результат – 1,8% пациентов**

## Выявленная патология (%). N=737



## ПЕРСПЕКТИВЫ

---

# Перспективы применения машинного обучения в анализе одноканальной ЭКГ

Выявление систолической дисфункции по одноканальной ЭКГ

Выполнено. AUC=0.899

Выявление предикторов ишемии по одноканальной ЭКГ в покое

Набор данных

Выявление признаков ишемии по одноканальной ЭКГ при нагрузке

Набор данных

Выявление предикторов кардиальных осложнений при ИБС, ГБ

Набор данных

Поиск моделей предикции декомпенсации ХСН

Набор данных

Выявление сахарного диабета по одноканальной ЭКГ

Набор данных

**Спасибо за внимание!**