



Оценка эффективности диагностических и скрининговых тестов при помощи ROC-кривой в статистической программе

Аглиуллина Саида Тахировна
доцент кафедры эпидемиологии и доказательной
медицины ФГБОУ ВО Казанский ГМУ
Минздрава России, к.м.н.

saida.agliullina@kazan-gmu.ru



План

1. Результаты диагностических и скрининговых тестов
2. Характеристическая кривая
3. Бинарная классификация
4. Построение ROC кривой в статистических программах (StatTech, MedCalc и др.)



Количественный
результат

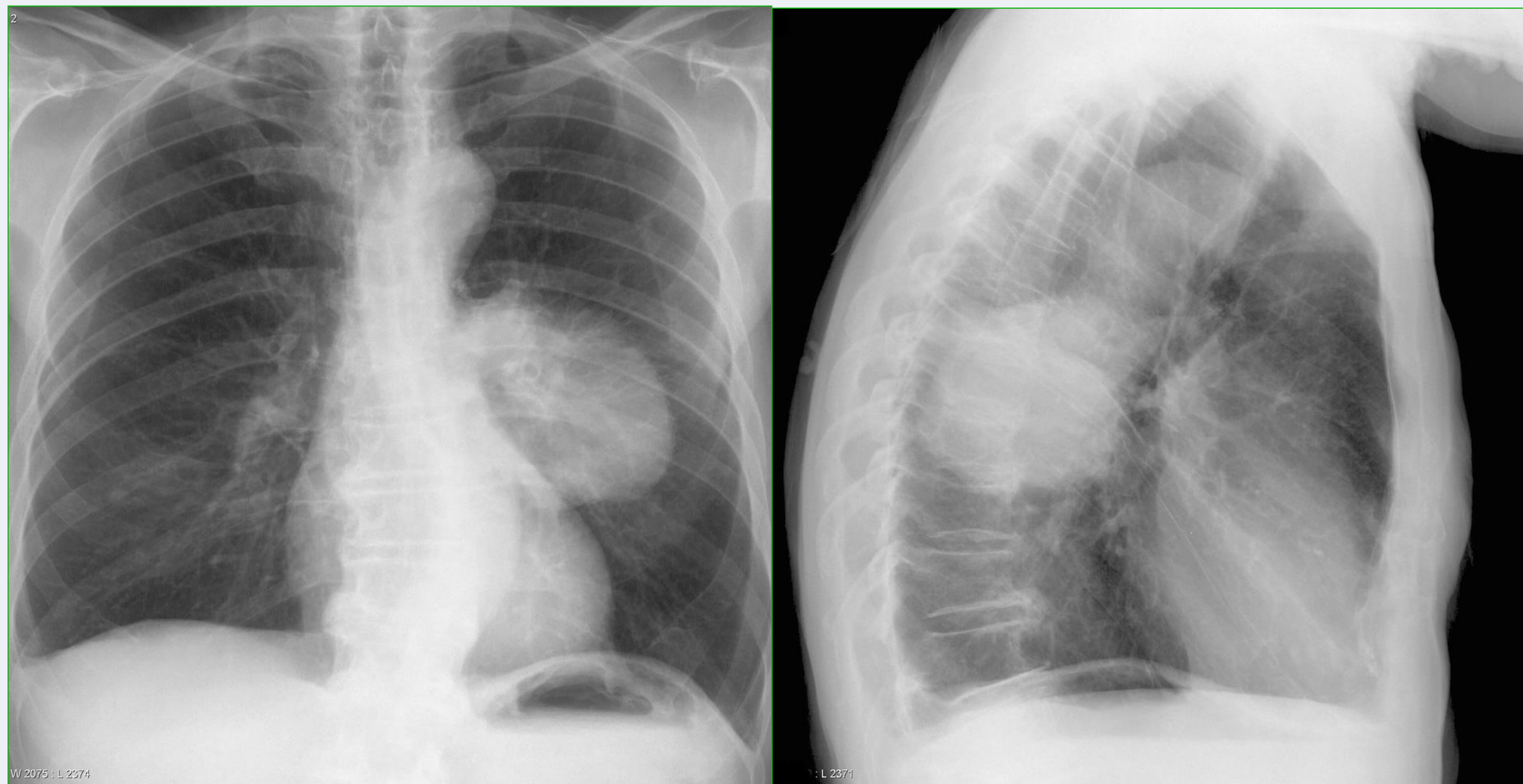
Скрининговые и диагностические тесты

Качественный
результат





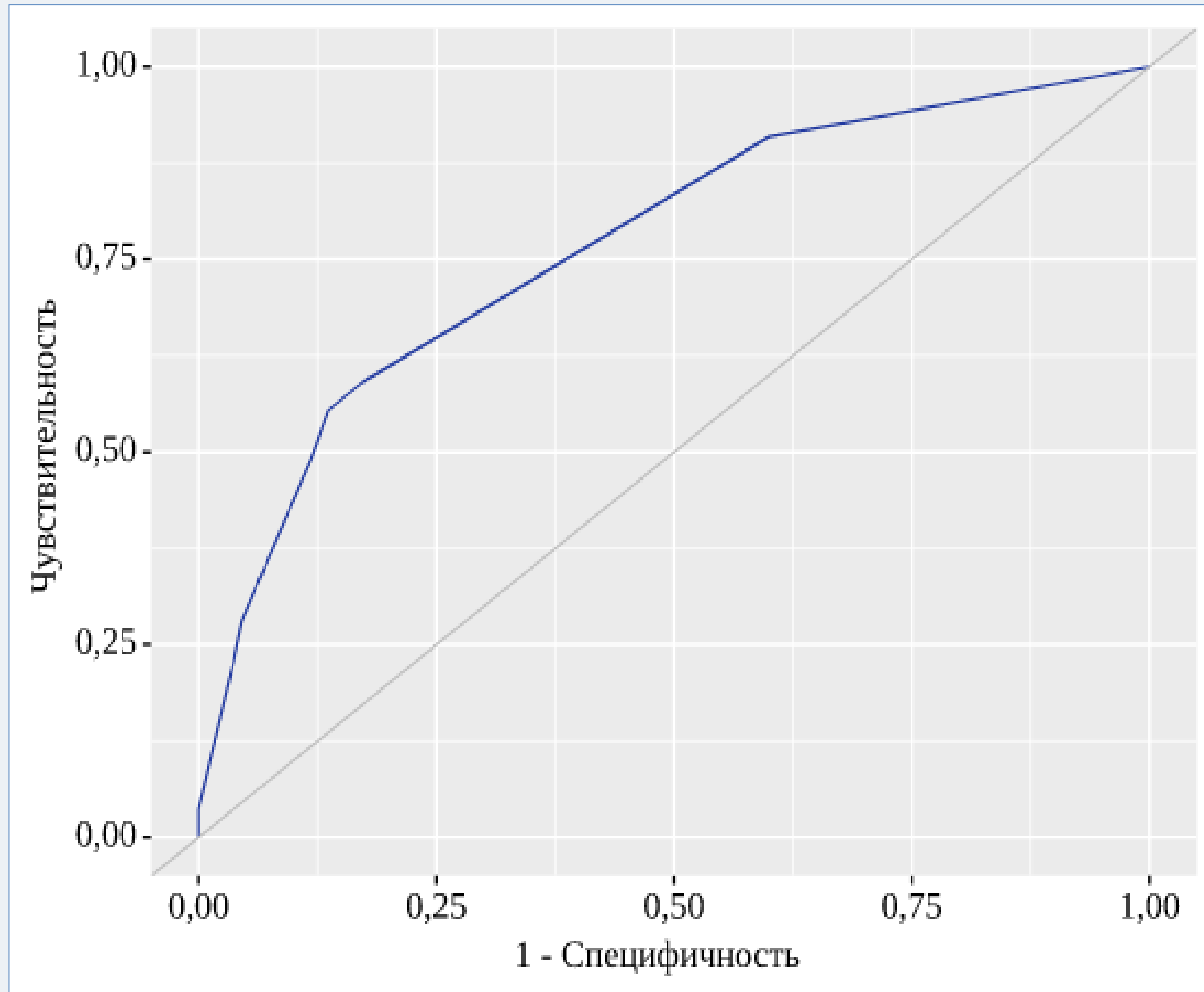
Тест с качественным результатом (порядковая шкала)



Оценка рентгенограммы:

1. Определенное отсутствие рака легкого.
2. Вероятное отсутствие рака легкого.
3. Равновероятное наличие или отсутствие рака легкого.
4. Вероятно, рак легкого.
5. Безусловно, рак легкого.

Рисунок: <https://radiopaedia.org/cases/lung-cancer-6>

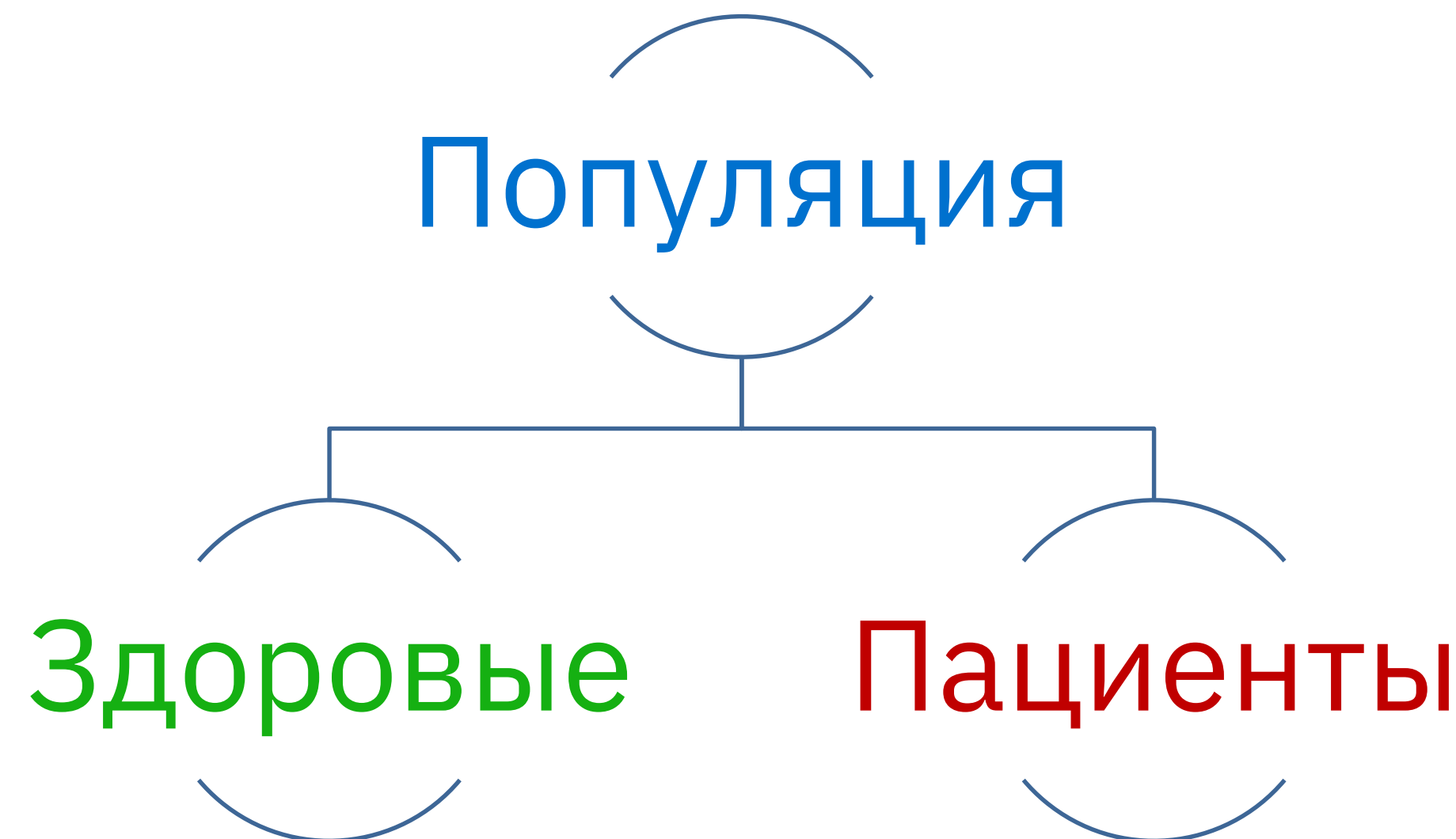


Характеристическая кривая
ROC-curve (Receiver Operating
Characteristic curve)



Бинарная классификация

Бинарный классификатор – такое решающее правило, которое позволяет отнести наблюдение (пациентов) к одному из двух классов с некоторой точностью.



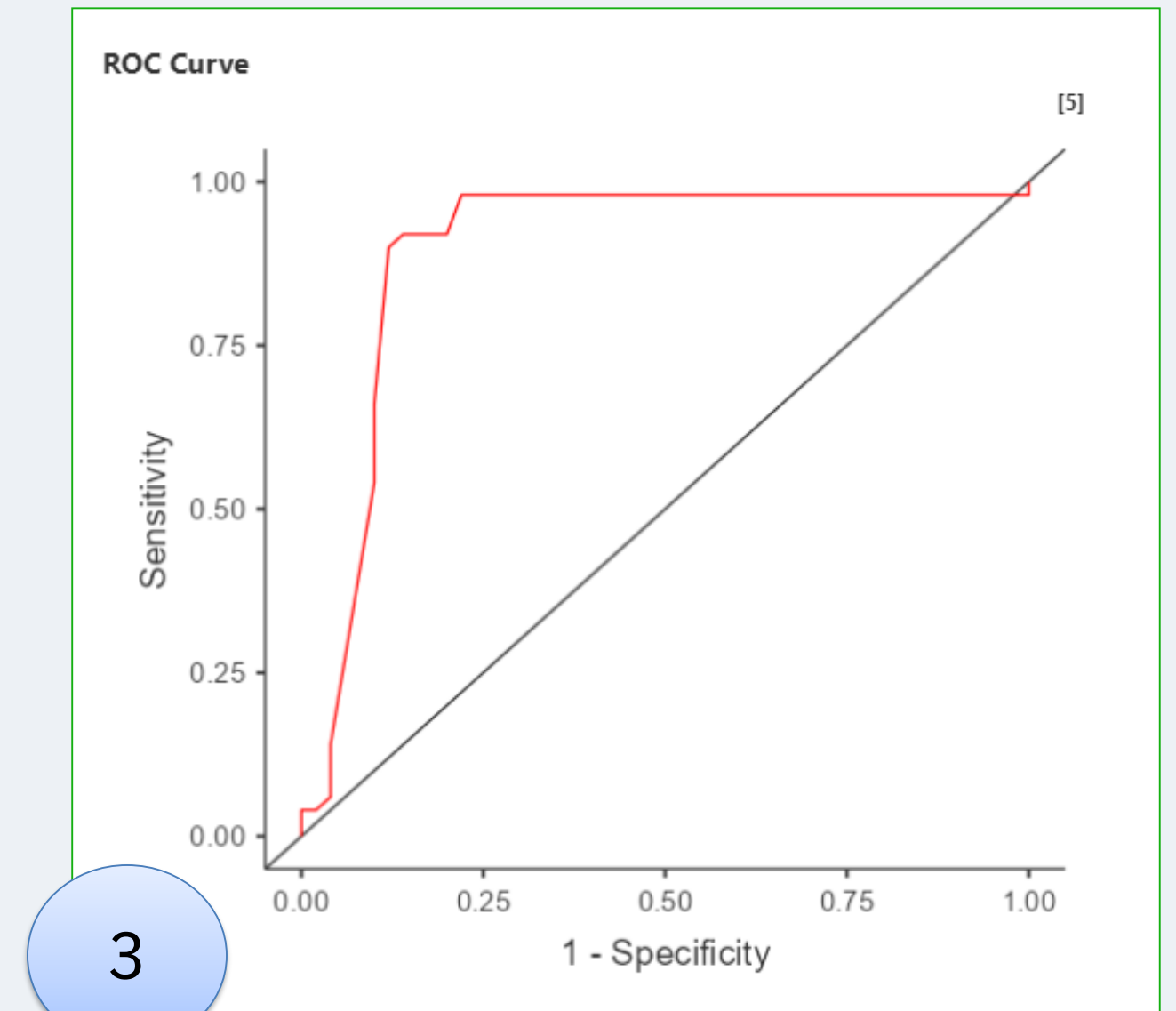
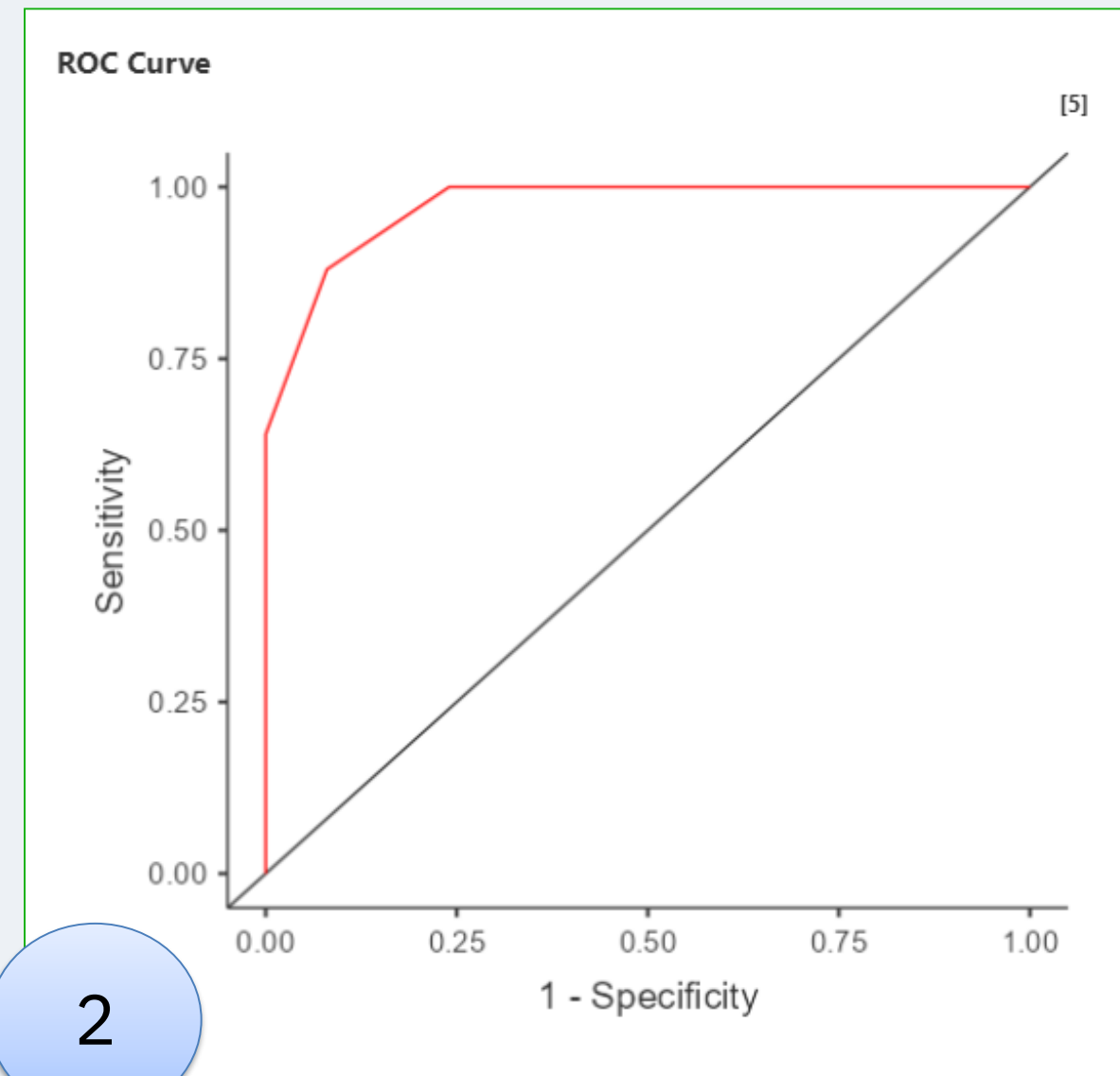
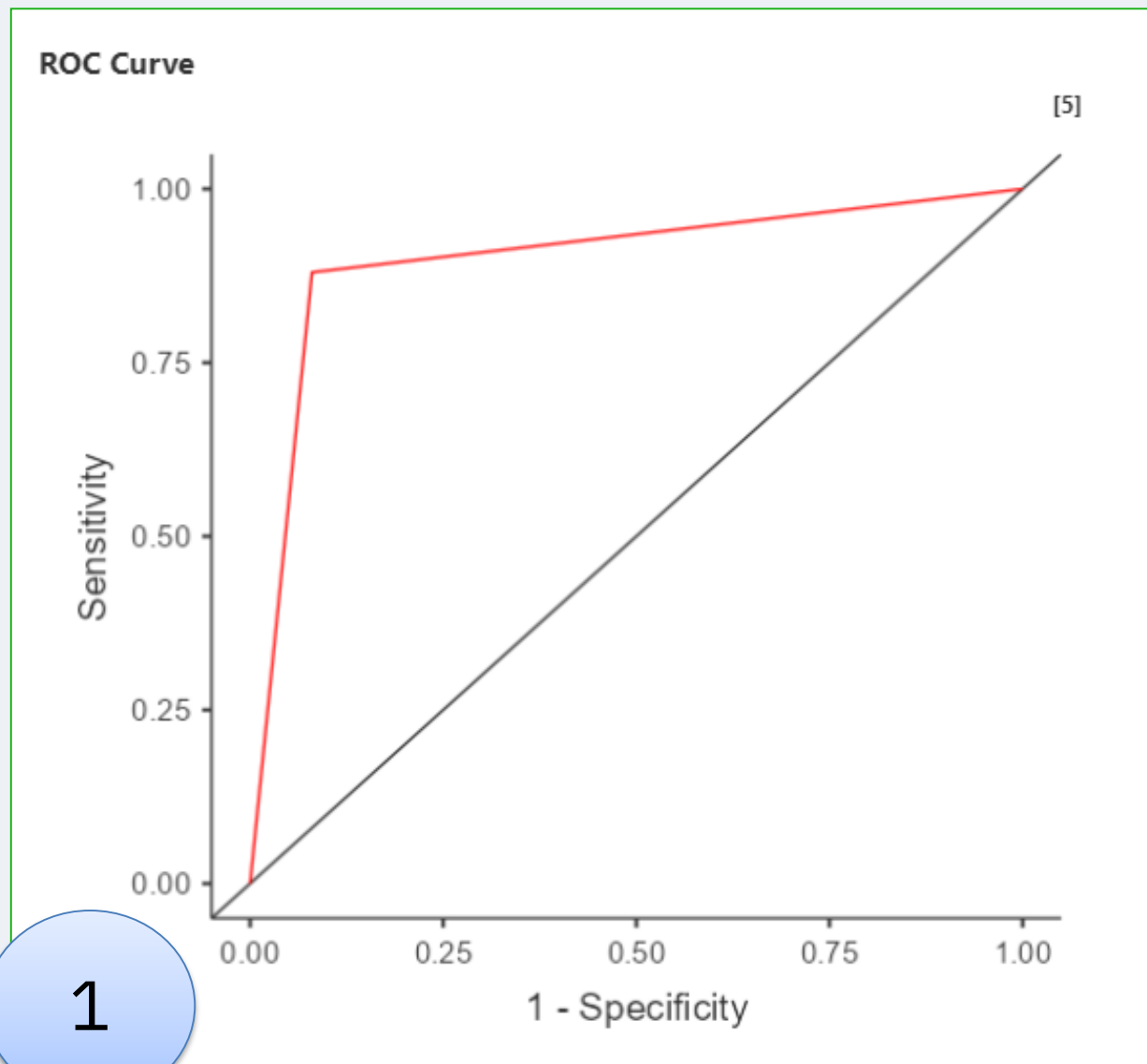


ROC-curve

Тест с качественным
результатом

Тест с качественным результатом
(порядковая шкала)

Тест с количественным
результатом



Уравнение бинарной логистической регрессии

$$p = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

$$z = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$$

где:

p – вероятность наступления или наличия исхода (в долях единицы),

z – показатель степени в логистической функции,

x – независимые переменные (факторы),

$b_1 \dots b_n$ – коэффициенты логистической регрессии,

a – оценка константы (пересечение),

e – математическая константа (приблизительно равная 2,72).





Построение ROC-кривой в статистической программе

Binomial Logistic Regression

Dependent Variable: Заболевание

Covariates: Тест 3

Prediction

| Predictive Measures | | |
|---------------------|-------------|-------------|
| Accuracy | Specificity | Sensitivity |
| 0.860 | 0.800 | 0.920 |

Note. The cut-off value is set to 0.5

ROC Curve

Cut-Off

Cut-off plot
Cut-off value: 0.5

Predictive Measures

Classification table
 Accuracy
 Specificity
 Sensitivity

ROC

ROC curve
 AUC

TestROC

Dependent Variable: Тест 3

Class Variable: Заболевание

Results Table

| Scale: Тест 3 | | | | | | | |
|---------------|-----------------|-----------------|---------|---------|----------------|-------|--------------|
| Cutpoint | Sensitivity (%) | Specificity (%) | PPV (%) | NPV (%) | Youden's index | AUC | Metric Score |
| 4.8 | 98% | 76% | 80.33% | 97.44% | 0.740 | 0.895 | 1.74 |
| 5 | 98% | 78% | 81.67% | 97.5% | 0.760 | 0.895 | 1.76 |
| 5.9 | 92% | 86% | 86.79% | 91.49% | 0.780 | 0.895 | 1.78 |
| 6 | 90% | 88% | 88.24% | 89.8% | 0.780 | 0.895 | 1.78 |

ROC Curves

ROC Curve: Combined

Plots

ROC Curves
 Combine plots
 LOESS smoothing
 Standard error bars

Tables

Sensitivity-specificity tables

Определение порога разделения (cutoff, cutpoint)

Results Table

Scale: Тест 3

| Cutpoint | Sensitivity (%) | Specificity (%) | PPV (%) | NPV (%) | Youden's index | AUC | Metric Score |
|----------|-----------------|-----------------|---------|---------|----------------|-------|--------------|
| 4.8 | 98% | 76% | 80.33% | 97.44% | 0.740 | 0.895 | 1.74 |
| 5 | 98% | 78% | 81.67% | 97.5% | 0.760 | 0.895 | 1.76 |
| 5.9 | 92% | 86% | 86.79% | 91.49% | 0.780 | 0.895 | 1.78 |
| 6 | 90% | 88% | 88.24% | 89.8% | 0.780 | 0.895 | 1.78 |



Построение ROC-кривой в StatTech



Казанский Государственный
Медицинский Университет

INNOPOLIS
UNIVERSITY

ОПОРНЫЙ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ
ЦЕНТР

STATTECH [Задать вопрос](#) [Отправить письмо](#) [Инструкции](#) Мои базы v2.8.

Диагностические тесты [Сохранить базу в файл](#) Всего в базе: 3 столбцов и 100 строк

[Отменить действие \(Ctrl+Z\)](#) [Вернуть действие \(Ctrl+Y\)](#) [Сбросить все зависимости](#) [Описательная статистика](#) [Настройки анализа](#) [Обновить](#) [Закреть анализ](#)

| Идентификатор | Номер пациента | Заболевание X | Результат теста |
|---------------|----------------|-------------------------|-------------------------|
| | 1 | 1 (Наличие заболеван... | 1 (Положительный рез... |
| | 2 | 1 (Наличие заболеван... | 1 (Положительный рез... |
| | 3 | 1 (Наличие заболеван... | 1 (Положительный рез... |
| | 4 | 1 (Наличие заболеван... | 1 (Положительный рез... |
| | 5 | 1 (Наличие заболеван... | 0 (Отрицательный рез... |
| | 6 | 1 (Наличие заболеван... | 1 (Положительный рез... |
| | 7 | 1 (Наличие заболеван... | 1 (Положительный рез... |
| | 8 | 1 (Наличие заболеван... | 1 (Положительный рез... |
| | 9 | 1 (Наличие заболеван... | 1 (Положительный рез... |
| | 10 | 1 (Наличие заболеван... | 0 (Отрицательный рез... |
| | 11 | 1 (Наличие заболеван... | 1 (Положительный рез... |
| | 12 | 1 (Наличие заболеван... | 1 (Положительный рез... |
| | 13 | 1 (Наличие заболеван... | 1 (Положительный рез... |
| | 14 | 1 (Наличие заболеван... | 1 (Положительный рез... |
| | 15 | 1 (Наличие заболеван... | 1 (Положительный рез... |

[+ Добавить строку](#)

✓ Анализ выполнен успешно [Скачать графики](#) [Скачать Word](#)

При оценке зависимости вероятности наличия заболевания X от значения логистической функции P с помощью ROC-анализа была получена следующая кривая.

Чувствительность

1 - Специфичность

Рисунок 2 – ROC-кривая, характеризующая зависимость вероятности показателя "Заболевание X" от значения логистической функции P

Построение ROC-кривой в StatTech

STATTECH Задать вопрос Отправить письмо Инструкции

База ЦСХП_Демо

Отменить действие (Ctrl+Z) Вернуть действие (Ctrl+Y) Сбросить все зависимости Описательная статистика

Без группы Без группы

ЦСХП Курение

Категориальная Категориальная

| | | |
|----|------------------|---------------|
| 1 | 1 (Наличие ЦСХП) | 0 (Некурящие) |
| 2 | 1 (Наличие ЦСХП) | 0 (Некурящие) |
| 3 | 1 (Наличие ЦСХП) | 0 (Некурящие) |
| 4 | 1 (Наличие ЦСХП) | 0 (Некурящие) |
| 5 | 1 (Наличие ЦСХП) | 0 (Некурящие) |
| 6 | 1 (Наличие ЦСХП) | 0 (Некурящие) |
| 7 | 1 (Наличие ЦСХП) | 0 (Некурящие) |
| 8 | 1 (Наличие ЦСХП) | 0 (Некурящие) |
| 9 | 1 (Наличие ЦСХП) | 0 (Некурящие) |
| 10 | 1 (Наличие ЦСХП) | 0 (Некурящие) |
| 11 | 1 (Наличие ЦСХП) | 0 (Некурящие) |
| 12 | 1 (Наличие ЦСХП) | 0 (Некурящие) |
| 13 | 1 (Наличие ЦСХП) | 0 (Некурящие) |
| 14 | 1 (Наличие ЦСХП) | 0 (Некурящие) |

+ Добавить строку

Настройки колонки "ЦСХП"

Основные Группы Зависимости **Модели**

Зависимая переменная
ЦСХП

Отбор предикторов

Критерий отбора
 P-value меньше
 Минимальный критерий Акаике

Независимые колонки

- Возраст, лет
- Курение
- Аллергия
- Прием стероидов в течение последнего месяца
- Артериальное давление (нет-0/да-1)
- Сахарный диабет
- Наличие стресса

Настройки анализа Обновить Закрыть анализ

✓ Анализ выполнен успешно

При оценке зависимости вероятности наличия ЦСХП от значения логистической функции P с помощью ROC-анализа была получена следующая кривая.

Чувствительность

1 - Специфичность

Рисунок 2 – ROC-кривая, характеризующая зависимость вероятности показателя "ЦСХП" от значения логистической функции P

Таблица 2 – Пороговые значения логистической функции P

| Порог | Чувствительность (Se), % | Специфичность (Sp), % | PPV | NPV |
|--------------|--------------------------|-----------------------|-------------|-------------|
| 0,701 | 55,5 | 86,4 | 80,3 | 66,0 |
| 0,503 | 59,1 | 82,7 | 77,4 | 66,9 |

Площадь под ROC-кривой составила $0,768 \pm 0,032$ с 95% ДИ: 0,705 – 0,830. Полученная модель была статистически значимой ($p < 0,001$).

Пороговое значение логистической функции P в точке cut-off, которому соответствовало наивысшее значение индекса Юдена, составило 0,701. Наличие ЦСХП прогнозировалось при значении логистической функции P выше данной величины или равном ей. Чувствительность и специфичность модели составили 55,5% и 86,4%, соответственно.



Интерпретация результатов по показателю AUC (Area Under Curve)

Информативность диагностического метода при

AUC=0,9–1,0 – наивысшая

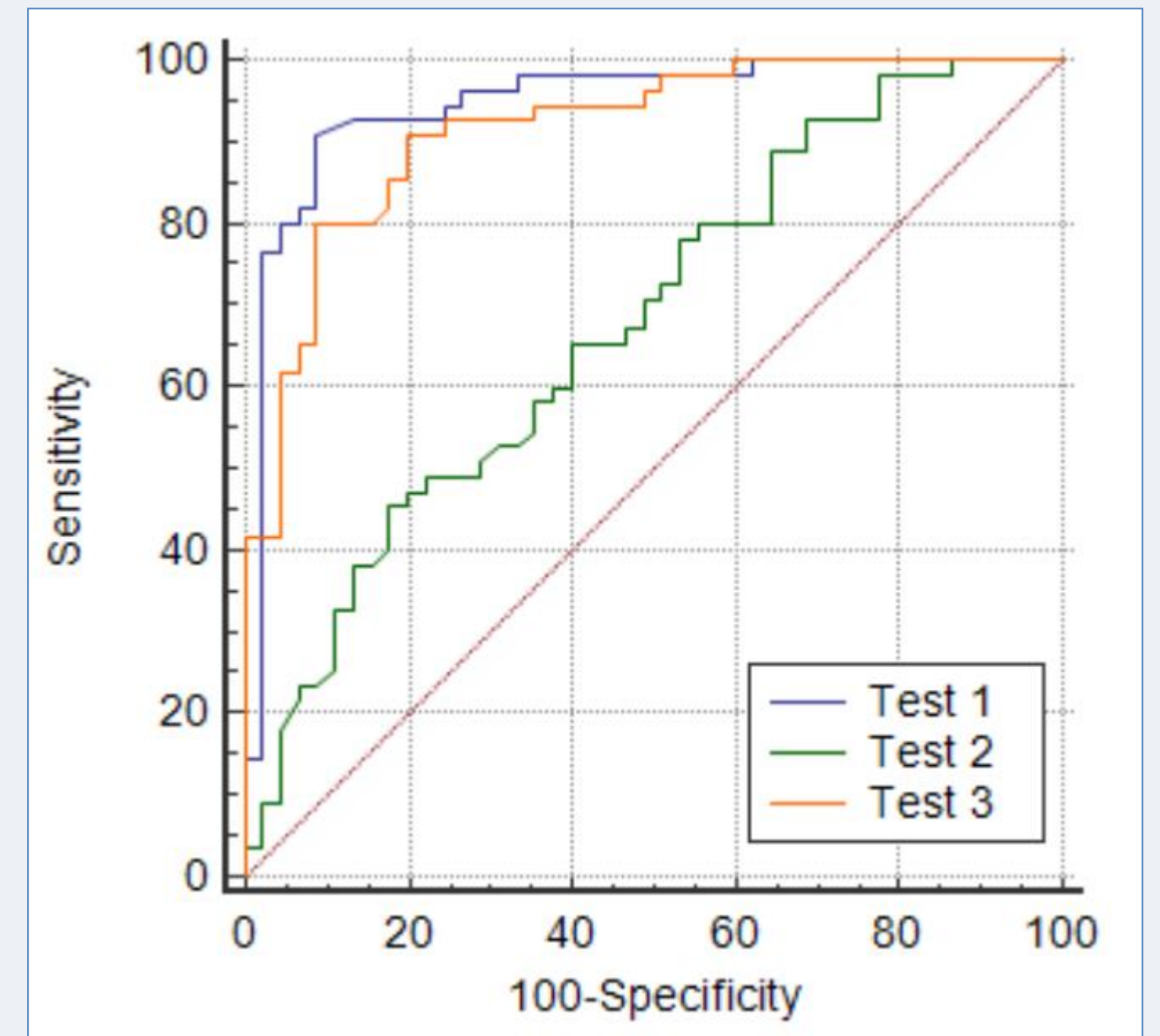
AUC=0,8–0,9 – хорошая

AUC=0,7–0,8 – приемлемая

AUC=0,6–0,7 – слабая

AUC=0,5–0,6 – чрезвычайно слабая

AUC=0,5 – полное отсутствие информативности



Сравнение двух ROC-кривых



Comparison of ROC curves

Variables:

Тест_1
Тест_2

Methodology

DeLong et al.
 Hanley & McNeil

Binomial exact Confidence Interval for the AUC

Graph

Display ROC curves window
 Mark points corresponding to criterion values

Classification variable:

Заболевание_1

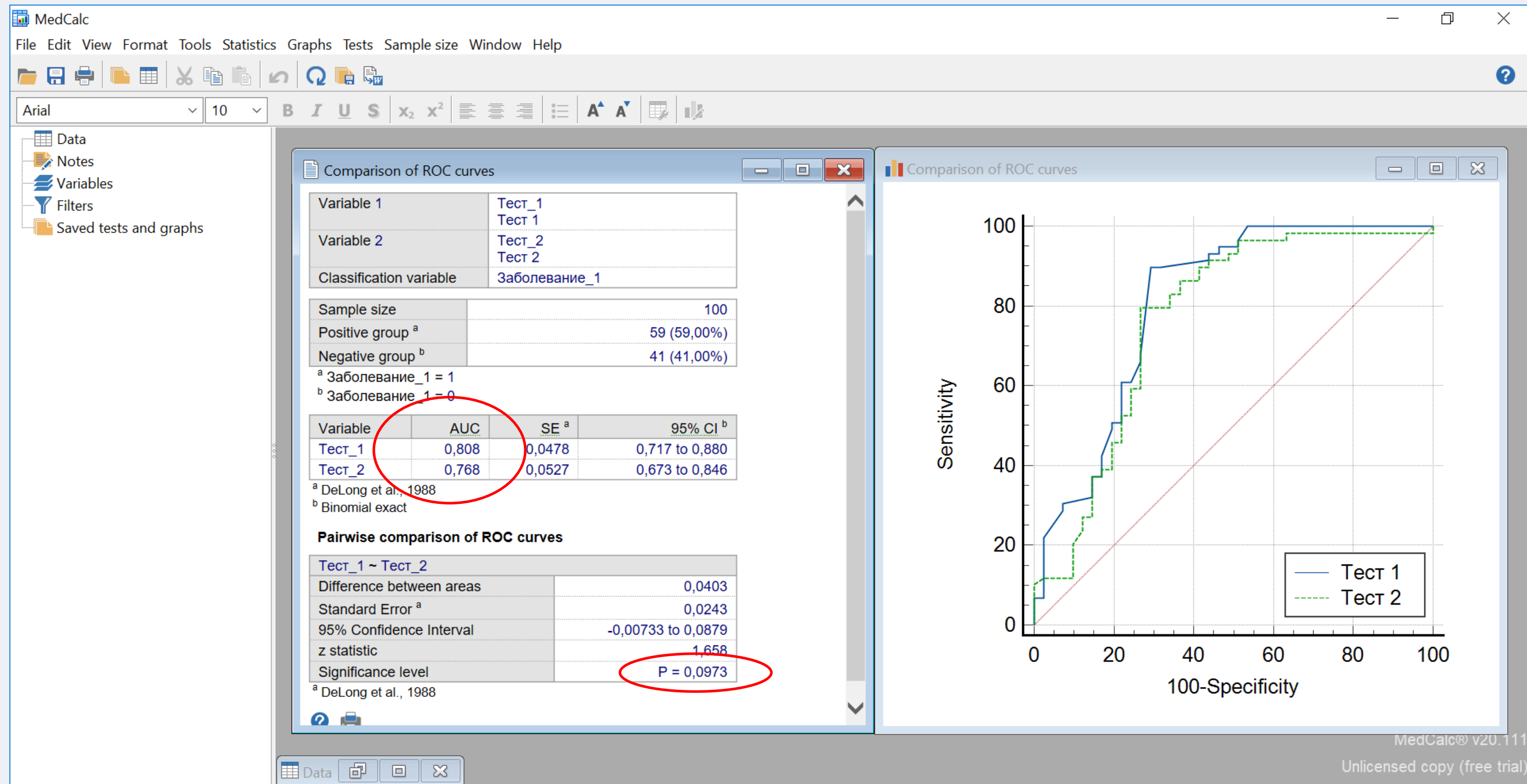
Filter:

OK Cancel

| Заболевание | Тест_1а | Тест_2а | Тест_3а | Тест_1 | Тест_2 |
|-------------|---------|---------|---------|-------------|-------------|
| 1 | 1 | 5 | 5,9 | 0,708683765 | 0,914 |
| 1 | 1 | 5 | 6,1 | 0,925117463 | 0,96 |
| 1 | 1 | 4 | 6 | 0,992846682 | 0,9013 |
| 1 | 1 | 4 | 6 | 0,078928157 | 0,07336 |
| 1 | 0 | 3 | 6,5 | 0,934502357 | 0,909 |
| 1 | 1 | 5 | 5 | 0,997387938 | 0,932 |
| 1 | 1 | 3 | 6 | 0,463316035 | 0,416 |
| 1 | 1 | 3 | 6,6 | 0,463316035 | 0,416 |
| 1 | 1 | 5 | 6 | 0,528469175 | 0,4560122 |
| 1 | 0 | 5 | 6 | 0,974469017 | 0,9134 |
| 1 | 1 | 5 | 6 | 0,528469175 | 0,522 |
| 1 | 1 | 3 | 6,8 | 0,528469175 | 0,522 |
| 1 | 1 | 3 | 6 | 0,528469175 | 0,50122 |
| 1 | 1 | 3 | 6 | 0,61585702 | 0,702019704 |
| 1 | 1 | 3 | 6,7 | 0,177993686 | 0,1247 |
| 1 | 1 | 3 | 6 | 0,307251583 | 0,307 |
| 1 | 1 | 3 | 6 | 0,177993686 | 0,217993686 |
| 1 | 1 | 3 | 6 | 0,840908052 | 0,880908052 |
| 1 | 1 | 3 | 7,1 | 0,972588542 | 1,012588542 |
| 1 | 1 | 3 | 7 | 0,078928157 | 0,118928157 |
| 1 | 1 | 3 | 7,3 | 0,100110266 | 0,140110266 |
| 1 | 1 | 3 | 7 | 0,697833005 | 0,737833005 |

DeLong ER, DeLong DM, Clarke-Pearson DL (1988) Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. Biometrics 44:837-845.

Результаты сравнения двух ROC-кривых



DeLong ER, DeLong DM, Clarke-Pearson DL (1988) Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. Biometrics 44:837-845.



Сравнение двух ROC-кривых

TestROC

Dependent Variable: Тест_1, Тест_2

Class Variable: Заболевание_1

Group Variable:

Plots: ROC Curves, Combine plots, LOESS smoothing, Standard error bars

Tables: Sensitivity-specificity tables

Advanced: DeLong's test

Method: Maximize metric

Metric: Sum: Sens/Spec

Tolerance metric: 0.05

Ties: All optimal cutpoints

Direction: >=

Specify cut score:

DeLong Test of Difference between AUCs

Estimated AUC's:

| | AUC | SD(Hanley) | P(H0: AUC=0.5) | SD(DeLong) | P(H0: AUC=0.5) |
|---|-------|------------|----------------|------------|----------------|
| 1 | 0.808 | 0.043 | 0.000 | 0.048 | 0.000 |
| 2 | 0.768 | 0.046 | 0.000 | 0.053 | 0.000 |

Pairwise comparisons:

| | AUC Difference | CI(lower) | CI(upper) | P.Value | Correlation |
|---------|----------------|-----------|-----------|---------|-------------|
| 1 vs. 2 | 0.040 | -0.007 | 0.088 | 0.097 | 0.888 |

Overall test:
p-value = 0.0973

ROC Curves

ROC Curve: Combined

Results Table

Scale: Tect_1

| Cutpoint | Sensitivity (%) | Specificity (%) | PPV (%) | NPV (%) | Youden's index | AUC | Metric Score |
|-------------------|-----------------|-----------------|---------|---------|----------------|-------|--------------|
| 0.4775151752082 | 89.83% | 68.29% | 80.3% | 82.35% | 0.581 | 0.808 | 1.58 |
| 0.528469174560122 | 89.83% | 70.73% | 81.54% | 82.86% | 0.606 | 0.808 | 1.61 |

Scale: Tect_2

| Cutpoint | Sensitivity (%) | Specificity (%) | PPV (%) | NPV (%) | Youden's index | AUC | Metric Score |
|-------------------|-----------------|-----------------|---------|---------|----------------|-------|--------------|
| 0.443316034871416 | 89.83% | 58.54% | 75.71% | 80% | 0.484 | 0.768 | 1.48 |
| 0.4560122 | 86.44% | 63.41% | 77.27% | 76.47% | 0.499 | 0.768 | 1.50 |
| 0.50122 | 83.05% | 65.85% | 77.78% | 72.97% | 0.489 | 0.768 | 1.49 |
| 0.5175151752082 | 79.66% | 68.29% | 78.33% | 70% | 0.480 | 0.768 | 1.48 |
| 0.518469174560122 | 79.66% | 70.73% | 79.66% | 70.73% | 0.504 | 0.768 | 1.50 |
| 0.522 | 79.66% | 73.17% | 81.03% | 71.43% | 0.528 | 0.768 | 1.53 |
| 0.537128409684482 | 76.27% | 73.17% | 80.36% | 68.18% | 0.494 | 0.768 | 1.49 |

[3] [4]

DeLong ER, DeLong DM, Clarke-Pearson DL (1988) Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. Biometrics 44:837-845.



Список литературы

1. Эпидемиология: учебник/ В.В. Власов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2021. – 496 с.: ил.
2. Наглядная медицинская статистика: учеб. пособие/ Петри А., Сэбин К.; перевод с англ. под ред. В.П. Леонова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2015. – 216 с.: ил.
3. Клиническая эпидемиология и основы доказательной медицины. Междисциплинарное учебное пособие для врачей / Под редакцией академика РАН, профессора Н.И. Брико. – Москва, 2019. – 288 с.
4. Ковалев АА, Кузнецов БК, Ядченко АА, Игнатенко ВА. Оценка качества бинарного классификатора в научных исследованиях. Проблемы Здоровья и Экологии. 2020;4:105–113.
5. Clinical prediction models—a practical approach to development, validation and updating/ Ewout W. Steyerberg. – Sec. Edition. – Springer, 2019. – 558 p.
6. DeLong ER, DeLong DM, Clarke-Pearson DL (1988) Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. Biometrics 44:837-845.