

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ВІДНОСНИХ ВЕЛИЧИН У МЕДИЦИНІ

М.А. Іванчук, І.В.Малик¹, Т.В.Книгніцька¹, Т.О.Лукашів¹

Вищий державний навчальний заклад України "Буковинський державний медичний університет", м. Чернівці

¹Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

Ключові слова:
номінальна шкала,
аналіз таблиць
спряженості,
відношення шан-
сів, критерій χ^2
Пірсона, точний
критерій Фішера,
тест МакНемара.

Клінічна та
експериментальна
патологія Т.18, №4
(70). С.109-114.

DOI:10.24061/1727-
4338.XVIII.4.70.2019.300

E-mail: mgracia2015
@gmail.com

Мета роботи - узагальнити відомості про основні методи аналізу даних, представлених у номінальних шкалах.

Наведено методику опису відносних величин, а також розглянуті критерії порівняння груп у цьому випадку. Зокрема, наведено умови та алгоритми використання критерію χ^2 Пірсона, точного критерію Фішера, відношення шансів, відносного ризику та тесту МакНемара. Для всіх критеріїв розглянуті приклади їх використання.

Висновки. Визначено, що під час статистичного аналізу результатів медичних досліджень рекомендується використовувати: критерій χ^2 Пірсона для порівняння незалежних вибірок, якщо в усіх комірках числа більше ніж 10; точний критерій Фішера для порівняння малих незалежних вибірок; відношення шансів для оцінки відносного ризику в дослідженнях типу "випадок-контроль"; відносний ризик для аналізу проспективних досліджень; тест МакНемара для порівняння залежних вибірок.

Ключевые слова:
номинальная шка-
ла, анализ таб-
лиц сопряжен-
ности, отноше-
ние шансов,
критерий χ^2
Пирсона, точный
критерий
Фишера, тест
МакНемара.

Клиническая и
экспериментальная
патология Т.18, №4
(70). С.109-114.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН В МЕДИЦИНЕ

М.А. Иванчук, И.В. Малик, Т.В. Книгницкая, Т.О.Лукашив

Цель работы - обобщить сведения об основных методах анализа данных, представленных в номинальных шкалах.

Приведена методика описания относительных величин, а также рассмотрены критерии сравнения групп в этом случае. В частности, приведены условия и алгоритмы использования критерия χ^2 Пирсона, точного критерия Фишера, отношение шансов, относительного риска и теста МакНемара. Для всех критериев рассмотрены примеры их использования.

Выводы. Определено, что при статистическом анализе результатов медицинских исследований рекомендуется использовать: критерий χ^2 Пирсона для сравнения независимых выборок, если во всех ячейках числа более 10; точный критерий Фишера для сравнения малых независимых выборок; отношение шансов для оценки относительного риска в исследованиях типа "случай-контроль"; относительный риск для анализа проспективных исследований; тест МакНемара для сравнения зависимых выборок.

Key words:
nominal scale,
analysis of
contingency
tables, odds ratio,
Pearson χ^2 test,
Fisher's exact test,
McNemar test.

Clinical and
experimental
pathology. Vol.18,
№4 (70). P.109-114.

STATISTICAL ANALYSIS OF RELATIVE QUANTITIES IN MEDICINE

M.A. Ivanchuk, I.V. Malyk, T.V. Knignitska T.O. Lukashiv

The purpose of the work is to summarize information on the basic methods of data analysis presented at nominal scales.

The methodology for describing relative values is presented, and the criteria for comparing groups in this case are also considered. In particular, the conditions and algorithms for using the Pearson χ^2 test, the Fisher exact test, the odds ratio, the relative risk, and the McNemar test are presented. Practical examples are considered by all criteria.

Conclusions. It is determined that Pearson test χ^2 for comparison of independent samples is recommended for statistical analysis of medical research results, if in all cells the number is greater than 10; Fisher's exact test to compare small independent samples; odds ratio for assessing relative risk in case studies; relative risk for prospective research analysis; McNemar test for comparison of dependent samples.

Вступ

Під час проведенні медичних досліджень трапляються ситуації, коли у результаті досліджень деякі ознаки не можна описати чисельно, про них можна лише сказати, чи присутні вони, чи ні. У цьому випадку результати подають у вигляді таблиць спряженості, у яких вказують кількість осіб кожної дослідної групи, що мають або не мають дану ознаку. Ця робота присвячена опису та методам аналізу таблиць спряженості.

Мета роботи

Узагальнити відомості про основні методи аналізу даних, представлених у номінальних шкалах.

Основна частина

1. Опис відносних величин

Відносна величина - число, що характеризує відношення однієї величини до іншої і може означати частку, частоту або співвідношення однієї величини до іншої. У медичних дослідженнях відносні величини використовують для характеристики складу дослідних груп (наприклад, розподіл хворих за віком, статтю), для опису частоти виявлення синдрому, що вивчається в різних групах (у хворих до та після лікування або в дослідній та контрольній групах).

Для того, щоб оцінити середнє значення відносної величини та його похибку, використовують розподіл Бернуллі та центральну граничну теорему [1]. Вказаний розподіл моделює випадковий експеримент, у якому випадкова подія може відбутися з ймовірністю p або не відбутися з ймовірністю $q=1-p$. Математичне сподівання випадкової величини, розподіленої за законом Бернуллі, знаходиться за формулою $M=p$, а середнє квадратичне відхилення $\sigma = \sqrt{pq}$. Стандартна помилка математичного сподівання знаходиться за формулою:

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{pq}{n}}$$

Нехай у деякому експерименті подія A відбулася n_A разів з n . Тоді середня частота події A розраховується за формулою:

$$M = p = \frac{n_A}{n} \tag{1}$$

з похибкою

$$m = \sqrt{\frac{pq}{n}} = \sqrt{\frac{\frac{n_A}{n} \cdot (1 - \frac{n_A}{n})}{n}} = \sqrt{\frac{n_A(1-n_A)}{n^2}} \tag{2}$$

Приклад 1. Нехай у досліді брали участь 50 пацієнтів, з них 20 жіночої статі та 30 - чоловічої. Розглянемо подію A ="пацієнт жіночої статі". Ймовірність цієї події $p = \frac{n_A}{n} = \frac{20}{50} = 0,4$, тоді $q=1-0,4=0,6$. Знайдемо математичне сподівання (1) та його стандартну помилку (2): $M = p = 0,4$, $m = \sqrt{\frac{0,4 \cdot 0,6}{50}} = 0,069$.

Отже, частка жінок в генеральній сукупності становить $40\% \pm 6,9\%$. Аналогічно обчислюємо, що пацієнтів чоловічої статі було $60\% \pm 6,9\%$.

Зауважимо, що стандартні помилки співпадають, якщо можливостей лише дві (наявність та відсутність ознаки). Якщо можливостей більше двох, то стандартні помилки можуть відрізнятись.

Приклад 2. Нехай у досліді брали участь 40 осіб, що були розподілені за віком у такий спосіб: 18-40 років - 12 осіб, 41-60 років - 15 осіб, старших за 60 років - 3 особи. Знайдемо частоти та їх стандартні помилки.

18-40 років: 12 осіб з 30 мають вік 18-40 років і 18 осіб мають інший вік.

Тоді $p = 12/30 = 0,4$; $q = 1 - p = 1 - 0,4 = 0,6$; $M = p = 0,4$

$$m = \sqrt{\frac{pq}{n}} = \sqrt{\frac{0,4 \cdot 0,6}{30}} = 0,0894$$

Отже, у віці 18-40 років було $40\% \pm 8,94\%$ осіб.

41-60 років: 15 осіб з 30 мають вік 41-60 років і 15 осіб мають інший вік.

Тоді $p = 15/30 = 0,5$; $q = 1 - p = 1 - 0,5 = 0,5$; $M = p = 0,5$;

$$m = \sqrt{\frac{pq}{n}} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot 0,5}{30}} = 0,0913$$

Отже, у віці 41-60 років було $50\% \pm 9,13\%$ осіб.

Старших за 60 років: 3 осіб з 30 мають вік старших за 60 років і 27 осіб мають інший вік.

Тоді $p = 3/30 = 0,1$; $q = 1 - p = 1 - 0,1 = 0,9$; $M = p = 0,1$;

$$m = \sqrt{\frac{pq}{n}} = \sqrt{\frac{0,1 \cdot 0,9}{30}} = 0,0548$$

Отже, у віці старших за 60 років було $10\% \pm 5,48\%$

Приклад 3. Нехай вивчається наявність деякої ознаки у пацієнтів, що мають хворобу A та в контрольній групі. У хворих на хворобу A ознака була виявлена у 20 хворих і відсутня у 5 хворих. У контрольній групі ознака була наявна у 2 осіб та відсутня у 13 осіб. Занесемо дані досліджень у таблицю:

	Ознака наявна	Ознака відсутня
Хвороба А	20	5
Контрольна група	2	13

Знайдемо у відсотках наявність та відсутність ознаки в обох групах та занесемо результати в таблицю:

	Ознака наявна	Ознака відсутня
Хвороба А	80%	20%
Контрольна група	13,3%	86,7%

Знайдемо похибку середнього для хворих на хворобу A .

$$p = 0,8; q = 0,2; m = \sqrt{\frac{0,8 \cdot 0,2}{25}} = 0,08$$

та для контрольної групи

$$p = 0,133; q = 0,867; m = \sqrt{\frac{0,133 \cdot 0,867}{15}} = 0,087$$

Тоді

	Ознака наявна	Ознака відсутня
Хвороба А	$80\% \pm 8\%$	$20\% \pm 8\%$
Контрольна група	$13,3\% \pm 8,7\%$	$86,7\% \pm 8,7\%$

2. Порівняння вибірок, представлених у відносних шкалах

Для порівняння частоти наявності ознаки в двох вибірках використовуються такі статистичні критерії:

- критерій χ^2 Пірсона;
- точний критерій Фішера;
- відношення шансів;
- відносний ризик;
- тест МакНемара.

Кожен критерій має свої переваги і недоліки, а вибір критерію залежить від поставленої задачі. Так, наприклад, точний критерій Фішера є більш потужним, ніж Клінічна та експериментальна патологія. 2019. Т.18, №4 (70)

критерій χ^2 Пірсона і може використовуватися для малих вибірок, проте точний критерій Фішера використовується лише для таблиць 2x2, а якщо груп чи ознак більше двох, можна застосовувати критерій χ^2 Пірсона. Для порівняння груп типу "випадок-контроль" використовується відношення шансів, для проспективних досліджень розраховують відносний ризик, а для випадків типу "до-після лікування" використовують тест МакНемара. Розглянемо кожен з критеріїв більш детально.

2.1. Критерій χ^2 Пірсона

	Ознака наявна	Ознака відсутня
Група А	A	B
Група Б (контрольна)	C	D

Очікувані значення позначають у такий спосіб: $O_{11}=A, O_{12}=B, O_{21}=C, O_{22}=D$. Далі розраховують очікувані значення:

	Ознака наявна	Ознака відсутня
Група А	$E_{11} = \frac{(A+B)(A+C)}{A+B+C+D}$	$E_{12} = \frac{(A+B)(B+D)}{A+B+C+D}$
Група Б (контрольна)	$E_{21} = \frac{(C+D)(A+C)}{A+B+C+D}$	$E_{22} = \frac{(C+D)(B+D)}{A+B+C+D}$

Значення критерію розраховують за формулою:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}, \quad (3)$$
 де O_{ij} - фактичні значення, E_{ij} - очікувані значення, r - кількість ознак (стовпчиків), c - кількість груп (рядочків).

Отримане за (3) значення критерію порівнюють з табличним значенням критерію χ^2 із $(r - 1)(c - 1)$ ступенями вільності.

Якщо хоча б в одній комірці знаходиться значення в межах від 5 до 9, використовують поправку Йейтса і

Критерій χ^2 Пірсона [2] може використовуватися як для таблиць 2x2, так і для таблиць більшої розмірності. При аналізі таблиць 2x2 значення в кожній комірці не повинно бути меншим за 10. Якщо хоча б в одній комірці є значення менше 5, використовують точний критерій Фішера.

Критерій використовується лише для незалежних вибірок, а для порівнянь типу "до-після лікування" використовують точний критерій Фішера.

Для розрахунку критерію χ^2 Пірсона фактичні значення заносять в таблицю:

значення критерію розраховують за формулою:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(|O_{ij} - E_{ij}| - 0,5)^2}{E_{ij}}, \quad (4)$$

Приклад 4. У результаті спостережень наявність деякої ознаки у пацієнтів, що мають хворобу А, та в контрольній групі, отримали: у хворих на хворобу А ознака була виявлена у 65 хворих і відсутня у 17 хворих. У контрольній групі ознака була наявна у 11 осіб та відсутня у 33 осіб. Необхідно визначити, чи відрізняються група хворих та контрольна група за наявністю ознаки.

Занесемо фактичні значення в таблицю:

	Ознака наявна	Ознака відсутня
Хвороба А	A=65	B=17
Контрольна група	C=11	D=33

Розрахуємо очікувані значення

	Ознака наявна	Ознака відсутня
Хвороба А	$\frac{(65 + 17)(65 + 11)}{65 + 17 + 11 + 33} = 49,46$	$\frac{(65 + 17)(17 + 33)}{65 + 17 + 11 + 33} = 32,54$
Контрольна група	$\frac{(11 + 33)(65 + 11)}{65 + 17 + 11 + 33} = 26,54$	$\frac{(11 + 33)(17 + 33)}{65 + 17 + 11 + 33} = 17,46$

Знайдемо значення критерію за формулою (3)

$$\chi^2 = \frac{(65 - 49,46)^2}{49,46} + \frac{(17 - 32,54)^2}{32,54} + \frac{(11 - 26,54)^2}{26,54} + \frac{(33 - 17,46)^2}{17,46} = 35,23$$

За таблицями [2] визначаємо критичне значення критерію χ^2 із $(2-1)(2-1)=1$ ступенем вільності.

$\chi^2_{кр} = 3,841$ при рівні значущості $\alpha=0,05$ та $\chi^2_{кр} = 6,635$ при $\alpha=0,01$. Розраховане значення критерію більше за обидва критичних, отже група хворих та контрольна група достовірно відрізняються за наявністю ознаки ($p < 0,01$).

2.2. Точний критерій Фішера

Точний критерій Фішера використовується для порівняння малих вибірок. Його можна використовувати

у випадках, коли в комірках таблиці 2x2 присутні нульові значення, тобто якщо досліджувана ознака не траплялася в одній з груп чи, навпаки, була присутня у всіх пацієнтів однієї з груп [3].

Для розрахунку критерію обчислюють значення:

$$p = \frac{(A+B)!(C+D)!(A+C)!(B+D)!}{A!B!C!D!(A+B+C+D)!} \quad (5)$$

Отримане за (5) значення - рівень значущості при порівнянні двох груп. Якщо отримане $p < 0,05$, то

відмінність між групами є достовірною.

Приклад 5. Розглянемо дані з прикладу 3:

	Ознака наявна	Ознака відсутня
Хвороба А	A=20	C=5
Контрольна група	B=2	D=13

Розрахуємо значення критерію:

$$P = \frac{(20 + 2)! (5 + 13)! (20 + 5)! (2 + 13)!}{20! 2! 5! 13! (20 + 5 + 2 + 13)!} = 0,000049.$$

Отже, група хворих та контрольна група достовірно відрізняються за наявністю ознаки ($p < 0,001$).

2.3. Відношення шансів

Відношення шансів є оцінкою відносного ризику в дослідженнях типу "випадок-контроль". Відношення шансів - один з основних способів чисельно описати

$$OR = \frac{A \cdot D}{B \cdot C} \quad (6)$$

Якщо значення OD близьке до 1, ймовірність наявності ознаки в обох групах однакова. При $OD > 1$, що більше значення OD, то більша ймовірність наявності ознаки в першій групі. При $OD < 1$, що менше значення

$$e^{\ln(OR) \pm 1,96 \sqrt{\frac{1}{A} + \frac{1}{B} + \frac{1}{C} + \frac{1}{D}}} \quad (7)$$

Якщо 1 не належить довірчому інтервалу, знайденому за (7), то роблять висновок про наявність різниці між групами при рівні значущості $\alpha = 0,05$.

Приклад 6. У результаті спостережень серед 65 пацієнтів, що мають хворобу А, досліджувана ознака

	Ознака наявна	Ознака відсутня
Хвороба А	A=25	B=65-25=40
Контрольна група	C=8	D=20-8=12

Знайдемо величину відношення шансів за формулою $OR = \frac{25 \cdot 12}{40 \cdot 8} = 0,9375$. (6)

Знайдемо 95% довірчий інтервал

$$e^{\ln(0,9375) - 1,96 \sqrt{\frac{1}{25} + \frac{1}{40} + \frac{1}{8} + \frac{1}{12}}} = 0,336$$

$$e^{\ln(0,9375) + 1,96 \sqrt{\frac{1}{25} + \frac{1}{40} + \frac{1}{8} + \frac{1}{12}}} = 2,612$$

Отже, 95% довірчий інтервал для відношення шансів рівний (0,336;2,612). Робимо висновок про те, що немає достовірних відмінностей між групою хворих та контрольною групою, оскільки 1-ша належить вказаному довірчому інтервалу.

2.4. Відносний ризик

Відносний ризик використовують для визначення ризику виникнення деякої ознаки у пацієнтів, що зазнали дію фактору ризику стосовно контрольної групи [4].

	Ознака наявна	Ознака відсутня
Присутній фактор ризику	A=30	B=60-30=30
Відсутній фактор ризику	C=7	D=50-7=43

Знайдемо величину відносного ризику за формулою (8)

$$RR = \frac{30(7 + 43)}{7(30 + 30)} = 3,57$$

наскільки відсутність або наявність певної ознаки пов'язана з наявністю досліджуваного фактору в статистичній групі. Використовується лише для порівнянь типу "випадок-контроль" [4].

Для розрахунку критерію обчислюють величину:

OD, то більша ймовірність наявності ознаки в другій групі. Для оцінки значимості відношення шансів знаходять довірчий 95% інтервал за формулою:

була присутня у 25 осіб, а серед 20 пацієнтів контрольної групи ознака була присутня у 8 осіб. Необхідно визначити, чи відрізняються група хворих та контрольна група за наявністю ознаки.

Занесемо фактичні значення в таблицю:

Значення відносного ризику обчислюють за формулою: $RR = \frac{A(C+D)}{C(A+B)}$ (8)

95% довірчий інтервал обчислюють за формулою:

$$e^{\ln(RR) \pm 1,96 \sqrt{\frac{B}{A(A+B)} + \frac{D}{C(C+D)}}} \quad (9)$$

Результати інтерпретують аналогічно відношенню шансів: якщо 1 не належить довірчому інтервалу, знайденому за (9), то роблять висновок про наявність різниці між групами на рівні значущості $\alpha = 0,05$.

Приклад 7. У результаті спостережень серед 60 пацієнтів, що зазнали впливу фактору ризику, досліджувана ознака виявлена у 30 осіб, а серед 50 пацієнтів, що не зазнали впливу фактору, ця ознака зафіксована у 7 осіб. Необхідно визначити, чи впливає фактор ризику на виникнення досліджуваної ознаки.

Занесемо фактичні значення в таблицю:

Знайдемо 95% довірчий інтервал

$$e^{\ln(3,57) - 1,96 \sqrt{\frac{30}{30(30+30)} + \frac{43}{7(7+43)}}} = 1,717$$

$$e^{\ln(3,57) + 1,96 \sqrt{\frac{30}{30(30+30)} + \frac{43}{7(7+43)}}} = 7,424$$

Отже, 95% довірчий інтервал рівний (1,717;7,424). Оскільки число 1 не належить довірчому інтервалу, робимо висновок про те, що фактор ризику достовірно впливає на наявність ознаки ($p < 0,05$).

	Ознака присуття після лікування	Ознака відсуття після лікування
Ознака присуття до лікування	A	B
Ознака відсуття до лікування	C	D

Значення критерію обчислюють за формулою:

$$Q = \frac{(|A-D|-1)^2}{A+D} \quad (10)$$

та порівнюють із табличним значенням критерію χ^2 із одним ступенем вільності [5].

Приклад 8. У дослідженні брали участь 60 пацієнтів.

	Ознака присуття після лікування	Ознака відсуття після лікування
Ознака наявна до лікування	A=40-25=15	B=25
Ознака відсуття до лікування	C=20	D=20

Розраховуємо значення критерію:

$$Q = \frac{(|15 - 20| - 1)^2}{15 + 20} = 0,457$$

За таблицями [2] визначаємо критичне значення критерію χ^2 із 1 ступенем вільності. $\chi^2_{sp} = 3,841$ при рівні значущості $\alpha = 0,05$. Оскільки отримане значення менше за критичне, робимо висновок про відсутність впливу лікування на наявність ознаки.

Висновок

У роботі проведено порівняльний аналіз основних тестів для порівняння частоти наявності ознаки в двох вибірках. Під час статистичного аналізу результатів медичних досліджень рекомендується використовувати такі правила вибору критерію:

- критерій χ^2 Пірсона для порівняння незалежних вибірок, якщо в усіх комірках числа більші за 10;
- точний критерій Фішера для порівняння малих незалежних вибірок;
- відношення шансів для оцінки відносного ризику в дослідженнях типу "випадок-контроль";
- відносний ризик для аналізу проспективних досліджень;
- тест МакНемара для порівняння залежних вибірок.

Список літератури:

1. Bertsekas D, Tsitsikis J. Introduction to probability. 2nd ed. Belmont: Athena Scientific; 2008. 544 p.
2. Fisher RA, Yates F. Statistical Tables for Biological Agricul-

2.5. Тест МакНемара

Тест МакНемара використовується при порівняннях типу "до-після лікування". Результати спостережень заносяться в таблицю:

У 40 з них до лікування наявна досліджувана ознака. Після лікування у 25 з них ознака була відсутня. У 20 хворих ознака відсутня до та після лікування. Необхідно перевірити вплив лікування на наявність ознаки. Занесемо дані дослідження в таблицю:

tural and Medical Research. Table IV. Chi-Square Test [Internet]. 6th ed. Edinburgh: Oliver & Boyd, Ltd; 1963[cited 2019 Dec 11]. Available from: <http://www2.lv.psu.edu/jxm57/irp/chisquar.html>

Weisstein E. Fisher's Exact Test. [Internet]. 2019[updated 2019; cited 2019 Dec 11]. Available from: <http://mathworld.wolfram.com/FishersExactTest.html>

3.Noordzij M, van Diepen M. Caskey FC, Jager KJ. Relative risk versus absolute risk: one cannot be interpreted without the other. Nephrol Dial Transplant [Internet]. 2017[cited 2019 Dec 11];32 (Suppl_2):ii13-8. Available from: https://academic.oup.com/ndt/article/32/suppl_2/ii13/3056571 doi: 10.1093/ndt/gfw465

4.Fay MP. Exact McNemar's Test and Matching Confidence Intervals. [Internet]. 2016[cited 2019 Nov 28]. 6 p. Available from: <https://cran.rstudio.com/web/packages/exact2x2/vignettes/exactMcNemar.pdf>

References:

- 1.Bertsekas D, Tsitsikis J. Introduction to probability. 2nd ed. Belmont: Athena Scientific; 2008. 544 p.
- 2.Fisher RA, Yates F. Statistical Tables for Biological Agricultural and Medical Research. Table IV. Chi-Square Test [Internet]. 6th ed. Edinburgh: Oliver & Boyd, Ltd; 1963[cited 2019 Dec 11]. Available from: <http://www2.lv.psu.edu/jxm57/irp/chisquar.html>
- Weisstein E. Fisher's Exact Test. [Internet]. 2019[updated 2019; cited 2019 Dec 11]. Available from: <http://mathworld.wolfram.com/FishersExactTest.html>
- 3.Noordzij M, van Diepen M. Caskey FC, Jager KJ. Relative risk versus absolute risk: one cannot be interpreted without the other. Nephrol Dial Transplant [Internet]. 2017[cited 2019 Dec 11];32 (Suppl_2):ii13-8. Available from: https://academic.oup.com/ndt/article/32/suppl_2/ii13/3056571 doi: 10.1093/ndt/gfw465
- 4.Fay MP. Exact McNemar's Test and Matching Confidence Intervals. [Internet]. 2016[cited 2019 Nov 28]. 6 p. Available from: <https://cran.rstudio.com/web/packages/exact2x2/vignettes/exactMcNemar.pdf>

Відомості про авторів:

Іванчук М.А. - к.фіз.-мат.н., доцент кафедри біологічної фізики та медичної інформатики ВДНЗ України "Буковинський державний медичний університет", м. Чернівці.

Малик І.В. - д.фіз.-мат.н., доцент кафедри математичних проблем управління і кібернетики Інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Кнігніцька Т.В. - аспірант кафедри прикладної математики та інформаційних технологій Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Лукашів Т.О. - к.фіз.-мат.н., доцент кафедри математичного моделювання Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Сведения об авторах:

Іванчук М.А. - к.фіз.-мат.н., доцент кафедры биологической физики и медицинской информатики Высшего

государственного учебного заведения Украины "Буковинский государственный медицинский университет", г.Черновцы.

Малык И.В. - д.физ.-мат.н., доцент кафедры математических проблем управления и кибернетики Института физико-технических и компьютерных наук Черновицкого национального университета имени Юрия Федьковича.

Книгницкая Т.В. - аспирант кафедры прикладной математики и информационных технологий Черновицкого национального университета имени Юрия Федьковича.

Лукашів Т.О. - к.физ.-мат.н., доцент кафедры математического моделирования Черновицкого национального университета имени Юрия Федьковича.

Information about authors:

Ivanchuk M.A. - PhD, associate professor of Biological Physics and Medical Informatics department at High State Educational Establishment of Ukraine "Bucovinian State Medical University", Chernivtsi.

Malyk I.V. - Dr., associate professor of Mathematical Problems of Control and Cybernetics at Physical, Technical and Computer Sciences Institute of Yuriy Fedcovich Chernivtsi National University.

Knignitska T.V. - graduate student of the Department of Applied Mathematics and Information Technology at Yuriy Fedcovich Chernivtsi National University

Lukashiv T.O., PhD, associate professor of the Department of Mathematical Modeling at Yuriy Fedcovich Chernivtsi National University.

Стаття надійшла до редакції 15.11.2019

Рецензент – проф. В.І. Федів

© М.А. Іванчук, І.В.Малик, Т.В.Кнігніцька, Т.О.Лукашів, 2019
