

Министерство здравоохранения Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Северный государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации

О.А. Харькова

ДОКАЗАТЕЛЬНАЯ ПСИХОЛОГИЯ

Учебное пособие

Архангельск
2022

УДК 159.9.07
ББК 88.9
X 23

Рецензенты:

М.И. Томилова, заместитель проректора по учебной работе ФГБУ ВО и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет имени Ж.И. Алфёрова Российской академии наук»;

Е.А. Бочарова, профессор кафедры психиатрии и клинической психологии ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет»

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Северного государственного медицинского университета

Харькова О.А.

X 23 Доказательная психология: учебное пособие / О.А. Харькова. – Архангельск: Изд-во Северного государственного медицинского университета, 2022. – 172 с.
ISBN 978-5-91702-464-6

Учебное пособие рекомендовано для обучающихся по специализации 37.05.01 – Клиническая психология и направлению подготовки 37.04.01 «Психология» (магистратура).

УДК 159.9.07
ББК 88.9

ISBN 978-5-91702-464-6

© Харькова О.А., 2022
© Северный государственный
медицинский университет, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
Раздел 1. Описательная статистика	5
1.1. Типы шкал и способы их представления	5
1.2. Описательная статистика с применением статистических программ SPSS И STATA	22
Раздел 2. Аналитическая статистика с применением статистической программы SPSS и STATA	49
2.1. Проверка статистических гипотез.....	49
2.2. Параметрические методы.....	52
2.2.1. Параметрические методы с применением статистических программ SPSS и STATA	53
2.3. Непараметрические методы.....	105
2.3.1. Непараметрические методы с применением статистических программ SPSS и STATA	107
2.4. Корреляционный анализ	151
2.4.1. Методы корреляционного анализа с применением статистических программ SPSS и STATA.....	153
Библиография	170

ПРЕДИСЛОВИЕ

С самых первых концепций прикладной психологии, которые были сформулированы Дайтнером Витмером (Lightner Witmer), психологи придерживались научно-обоснованного подхода к уходу за пациентами (Evidence-Based Practice in Psychology American Psychologist Vol. 61, No. 4, 271–285). Уже в 1947 году Американская психологическая ассоциация выдвинула идею о том, что обучать психологов надо не только как практиков, но и как ученых. Это позволило бы разрабатывать руководства, повышающие эффективность и качество оказываемых психологических вмешательств.

На сегодняшний день существует такое понятие, как Основанная на доказательствах практика в психологии или Доказательная психология (Evidence-based practice in psychology). Ее основная цель – продвигать эффективную психологическую практику и укреплять общественное здоровье, применяя эмпирически доказанные принципы психологической оценки, формулировки случая, терапевтических отношений и вмешательства.

Данное учебное пособие является измененным и дополненным пособием «Статистический анализ психологических данных». Здесь будут рассмотрены не только теоретические аспекты и математические формулы, но и продемонстрировано, как с помощью этих знаний можно получить новые знания, концепции в области психологии с применением широко применяемых в России статистических программ.

Пособие включает два раздела «Описательная статистика» и «Аналитическая статистика». Уникальность пособия состоит в том, что оно содержит путеводители использования статистических программ – STATA (<https://www.stata.com>) и SPSS (<https://www.ibm.com/ru-ru/analytics/spss-statistics-software>).

Все разделы пособия включают широкий набор примеров и вопросов для самоконтроля, которые позволяют закрепить и углубить теоретические знания и получить навыки практического использования статистических методов в психологии.

Раздел 1. ОПИСАТЕЛЬНАЯ СТАТИСТИКА

1.1. Типы шкал и способы их представления

Описательная статистика – это способ описания данных (переменных), полученных опытным путем. Переменные – есть величины, которые в результате измерения могут принимать различные значения. Независимые переменные – это переменные, значения которых в процессе эксперимента можно изменять, а зависимые переменные – это переменные, значения которых можно только измерять.

Переменные могут быть измерены в различных шкалах. Различие шкал определяется их информативностью. Выделяются следующие типы шкал: количественные и качественные (рис. 1).

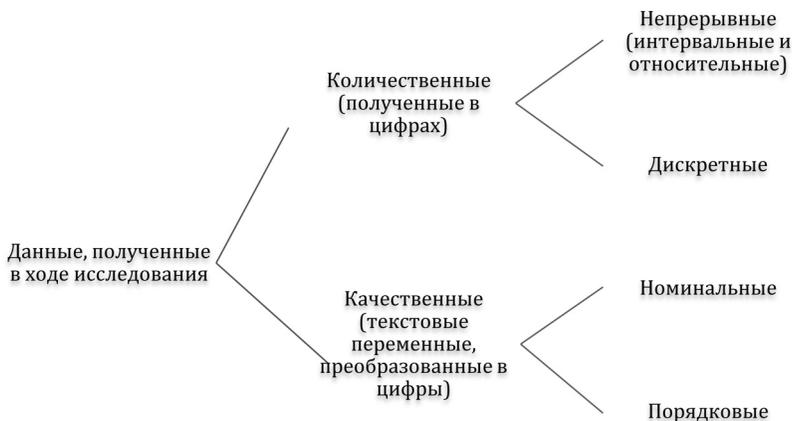


Рис. 1. Классификация шкал

Количественные данные – это данные, который изначально представлены цифрами. Они подразделяются на непрерывные и дискретные.

Непрерывные данные – это данные, которые получают при измерении на непрерывной шкале, т.е. это данные, которые могут иметь дробную часть; например, рост, вес, окружность головы и т.д. Разновидности непрерывных данных: интервальные и относительные величины.

Интервальные величины – это вид непрерывных данных, которые измеряются в абсолютных величинах, т.е. имеют физический смысл.

Относительные величины представляют собой соотношение двух абсолютных величин и, если последние однородны, имея одинаковую размерность, то относительная величина получается безразмерной, принимая статус коэффициента (например, индекс массы тела). Часто применяется искусственная размерность коэффициентов путем их умножения или на 100 (получают проценты), или на 1000 (получают промилле), или на 10000 (получают деципромилле). Две последние размерности используются в статистике населения, где коэффициенты и проценты выражаются очень малыми величинами. Наиболее употребимы, особенно в психологии, проценты.

Дискретные данные – это количественные данные, которые не могут иметь дробную часть; например, количество выкуриваемых сигарет в сутки, количество шагов за сутки, показатель шкалы «Общительность-замкнутость» по методике Кеттелла.

Качественные данные – это данные текстовые, которым присваиваются цифровые обозначения. Они подразделяются на номинальные и порядковые.

Номинальные данные представлены категориями, для которых порядок абсолютно не важен. Для них не определен никакой другой способ сравнения, кроме как на буквальное совпадение/несовпадение. Здесь мы лишены возможности сравнивать лучше – хуже, выше – ниже. Например, пол: мужской и женский; темперамент: сангвник, холерик, флегматик, меланхолик и т.д. Разновидностью номинальных данных служит дихотомическая величина.

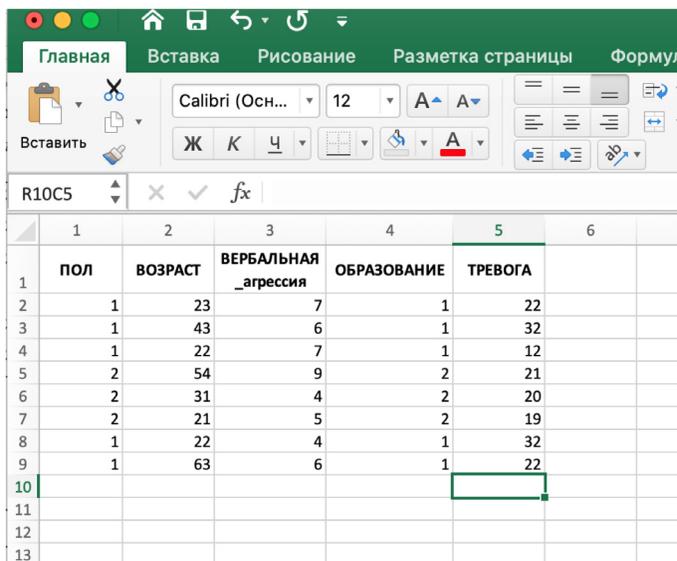
Дихотомические данные (бинарные) – признак такого типа имеет лишь два возможных противоположных значения; например, здоровый – больной; курит – не курит, есть акцентуация характера – нет акцентуации характера и т.д.

Порядковые данные – вид качественных данных, которые отражают условно степень выраженности какого-либо признака, т.е. их можно расположить или ранжировать в логическом порядке; например, уровень тревоги: высокий, средний и низкий; или школьная оценка: неудовлетворительно, удовлетворительно, хорошо и отлично. Их основное отличие от дискретных данных заключается в от-

сутствии пропорциональной шкалы для измерения выраженности признака.

При формировании базы данных, эмпирические данные следует располагать в столбцах и строках электронной таблицы. В строках располагаются наблюдения (объекты исследования), в столбцах – переменные (признаки). Базу данных можно составлять сразу в статистической программе либо сначала в Excel файле, который быстро и легко импортируется в любую статистическую программу.

Рассмотрим пример формирования базы данных в Excel (рис. 2)



	1	2	3	4	5	6	7
1	ПОЛ	ВОЗРАСТ	ВЕРБАЛЬНАЯ_агрессия	ОБРАЗОВАНИЕ	ТРЕВОГА		
2	1	23	7	1	22		
3	1	43	6	1	32		
4	1	22	7	1	12		
5	2	54	9	2	21		
6	2	31	4	2	20		
7	2	21	5	2	19		
8	1	22	4	1	32		
9	1	63	6	1	22		
10							
11							
12							
13							

Рис. 2. Пример формирования базы данных в Excel

Примечание: «пол» – качественный признак (1 – женский, 2 – мужской); «возраст» – количественный признак (полных лет); «вербальная_агрессия» – количественный признак (в баллах); «образование» – качественный признак (1 – высшее образование, 2 – не высшее образование); «тревога» – количественный признак (в баллах)

Обратите внимание, что в переменной «вербальная агрессия» между словами стоит нижнее подчеркивание. Это делается для того, чтобы название переменной корректно импортировалось в любую статистическую программу, так как большинство программ не воспринимают «пробел».

Качественные данные могут быть представлены, как текстовыми переменными, так и числовыми. Однако представление первым вариантом не рекомендуется из-за сложности дальнейшего анализа.

На этапе подготовки рекомендуется вносить все данные, которые предполагается анализировать, т.е. относящиеся ко всем объектам исследования в разных группах и подгруппах (в том числе в группах контроля), а также все исследуемые признаки для каждого объекта исследования. В случае пропущенного значения необходимо оставить клетку электронной таблицы пустой.

Точность количественных данных, которые вносятся в таблицу, определяются точностью измерений того метода или прибора, с которого взяты данные. Например, если признак определяется с точностью до десятых долей единицы измерения, то они так и должны вноситься в таблицу. С помощью этого предотвращается потеря информации, которая может оказаться существенной для результатов статистической обработки данных.

При внесении данных необходимо обозначить, к какой группе относится участник исследования. Такая переменная называется группирующей. Она может быть либо порядковой качественной, либо номинальной. Таких группирующих переменных может быть несколько. Например, по рис. 2 группирующими переменными могут быть «пол» и «образование». Любой количественный признак может быть превращен в группирующий посредством его преобразования в качественный. Например, по рис. 2 переменную «вербальная агрессия» переводим в дихотомическую «есть вербальная агрессия (8 и более баллов) и «нет вербальной агрессии (7 и менее баллов).

Если исследование носит динамический характер, т.е. каждый респондент обследован дважды, трижды и т.д., то данные о каждом участнике располагают в одной строке таблицы. При этом количество столбцов увеличивается во столько раз, сколько раз собраны данные (рис. 3).

Количественные и качественные данные представляются в научно-исследовательских работах в виде усредненных данных; причем для количественного признака – усредненные данные свои, для качественного – свои (рис. 4).

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	1	2	3	4	5
	ПОЛ	ВЕРБАЛЬНАЯ_агрессия_1	ВЕРБАЛЬНАЯ_агрессия_2	ВЕРБАЛЬНАЯ_агрессия_3	
1					
2	1	7	6	5	
3	1	6	6	5	
4	1	7	7	7	
5	2	9	9	5	
6	2	4	5	4	
7	2	5	3	5	
8	1	4	4	7	
9	1	6	5	5	
10					
11					
12					

Рис. 3. Пример базы данных для динамических исследований

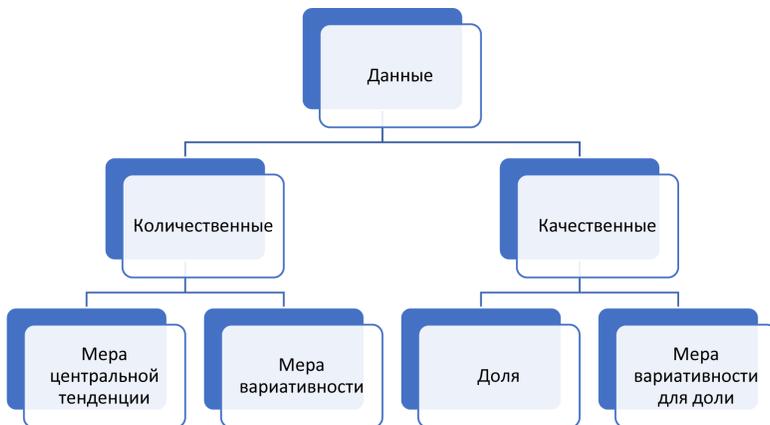


Рис. 4. Способы представления количественного и качественного признака

Для описания количественного признака используют меру центральной тенденции и меру вариативности. Рассмотрим некоторые из них более подробно.

К характеристикам положения относят следующие оценки центральной тенденции: средняя арифметическая (\bar{x}), медиана (Me или Md) и мода (Mo).

1. Средняя арифметическая (Mean)

– определяется как сумма значений, деленная на количество значений.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x$$

где \bar{x} – средняя арифметическая,
 x – индивидуальное значение,
 n – число наблюдений,
 Σ – знак суммы

Среднее арифметическое значение признака, вычисленное для какой-либо группы, интерпретируется как значение наиболее типичного для этой группы человека. Однако бывают случаи, когда подобная интерпретация несостоятельна (особенно в случае, когда существует большая разница между минимальным и максимальным значениями признака).

Например, показатель вербальной агрессии по методике Басса-Дарки у подростков-спортсменов

№	Показатель вербальной агрессии, баллы	№	Показатель вербальной агрессии, баллы
1	8	5	7
2	7	6	6
3	7	7	9
4	5	8	3

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x = (8 + 7 + 7 + 5 + 7 + 6 + 9 + 3) / 8 = 6,5 \text{ балла}$$

Вывод: средний показатель вербальной агрессии у подростков-спортсменов равен 6,5 баллов

2. Медиана

– это точка на шкале измеренных значений, выше и ниже которой лежит по половине всех измеренных значений. При нечетном числе элементов в ряду данных, медиана равна центральному члену ряда, а при четном – среднему арифметическому двух центральных значений ряда.

Пример 1,

№	Показатель вербальной агрессии, баллы	№	Показатель вербальной агрессии, баллы
1	8	5	7
2	7	6	6
3	7	7	9
4	5		

а) Числовой ряд выстраивается в порядке возрастания:

1	2	3	4	5	6	7
5	6	7	7	7	8	9

б) $Me = 7$

Вывод: средний показатель вербальной агрессии у подростков-спортсменов равен 7 баллам

Пример 2,

№	Показатель вербальной агрессии, баллы	№	Показатель вербальной агрессии, баллы
1	8	5	7
2	7	6	6
3	7	7	9
4	5	8	3

а) Числовой ряд выстраивается в порядке возрастания:

1	2	3	4	5	6	7	8
3	5	6	7	7	7	8	9

$$\text{б) } Me = (7+7) / 2 = 7$$

Вывод: средний показатель вербальной агрессии у подростков-спортсменов равен 7 баллам

3. Мода

– наиболее часто встречающееся значение в наборе наблюдений.

В случае, когда два значения встречаются одинаково часто, то это говорит о наличии двух мод, т.е. ряд бимодальный.

Например,

Возраст, лет	Количество	Возраст, лет	Количество
18	1	22	9
19	12	23	5
20	16	24	3
21	16	25	1

Вывод: $Mo = 20$ и 21 (то есть речь идет о бимодальном числовом ряде), т.к. возраст 20 лет и 21 год встречается одинаково у 16 респондентов.

Используя для описания ряда значений признака только меру центральной тенденции, можно сильно ошибиться в оценке характера изучаемой совокупности. Это хорошо видно на следующем примере.

Например, мы изучаем среднюю заработную плату (в рублях) в двух группах, состоящих каждая из шести человек. Значения признака распределились следующим образом:

1 группа – 10000, 10000, 10000, 50000, 50000, 50000

2 группа – 30000, 30000, 30000, 30000, 30000, 30000

Подсчитав среднее значение в каждой из групп, получим $\bar{x}_1 = 30000$ и $\bar{x}_2 = 30000$. То есть мы получили одинаковые значения, тогда как совершенно очевидно, что выборки взяты из разных совокупностей. Ошибка произошла из-за разброса значений заработной платы в этих группах.

Существует несколько способов оценки меры рассеивания признака: размах (R), стандартное отклонение (s), процентиля (p), квар-

тили (Q), 95% доверительный интервал (95%ДИ), коэффициент вариации (Cv), асимметрия (A) и эксцесс (E). Мы рассмотрим некоторые из них.

1. Стандартное отклонение

– это показатель разброса значений относительно среднего арифметического.

Для характеристики разброса все равно, в какую сторону отклоняется значение – в большую или меньшую. Иными словами, отрицательные и положительные отклонения должны вносить равный вклад в характеристику разброса. Воспользуемся тем, что квадраты двух равных по абсолютной величине чисел равны между собой, и вычислим средний квадрат отклонения от среднего. Этот показатель носит название дисперсии и обозначается s^2 для выборки и σ^2 для генеральной совокупности. Чем больше разброс значений, тем больше дисперсия. Дисперсия измеряется в единицах, равных квадрату единицы измерения соответствующей величины. Например, дисперсия измеряемого в сантиметрах роста сама измеряется в квадратных сантиметрах. Это довольно неудобно. Поэтому чаще используют квадратный корень из дисперсии – стандартное отклонение. Оно вычисляется по формуле:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

где s – стандартное отклонение,
 x – значение каждого наблюдения в выборке,
 \bar{x} – средняя арифметическая,
 n – число наблюдений в выборке,
 Σ – знак суммы

Например,

№	Показатель вербальной агрессии, баллы	№	Показатель вербальной агрессии, баллы
1	8	5	7
2	7	6	6
3	7	7	9
4	5	8	3

$$s = \sqrt{\frac{(8 - 6,5)^2 + (7 - 6,5)^2 + \dots + (9 - 6,5)^2}{8 - 1}} = 1,9$$

Вывод: средний показатель вербальной агрессии у подростков-спортсменов 6,5 (1,9)

2. Процентили и квартили

Процентили (р) показывают, каким образом значения данных разделены интервалами от наименьшего значения к наибольшему в ранжированном ряду.

1-й процентиль (р1) – величина х, до которой расположен 1% наблюдений, находящихся ниже х, и т.д.

Алгоритм расчета процентиля:

1. Числовой ряд выстраивается в порядке возрастания.

2. Определяется номер процентиля по формуле: $(p/100) \cdot (n+1)$, где р – процентиль, который нужно рассчитать, n – число наблюдений

3. Целое число номера процентиля соответствует порядковому номеру в упорядоченном ряду. В случае, когда рассчитанный номер процентиля имеет дробное число, его рассчитывают следующим образом: к целому числу (которое соответствует порядковому номеру в упорядоченном ряду) прибавляют разницу между последующим числом и целым, умноженную на остаток от дробного числа (т.е. без целого значения).

Процентили показывают относительное положение каждого респондента в нормальной выборке, но не величину различий между результатами. Это создает некоторые неудобства в интерпретации индивидуальных результатов. Так, разница в первичных показателях, соответствующая интервалу $P_{65} - P_{75}$, может составить 20 баллов, а различие в количестве правильных решений в интервале рангов $P_{45} - P_{55}$ – лишь 5 баллов.

Квартили (Q_1, Q_2, Q_3) делят распределение на 4 части по 25% каждой (Рис. 5).

Q_1 (25-й процентиль) – точка на шкале измеренных значений, левее которой располагается 25 % измеренных значений;

Q_2 – (медиана, 50-й процентиль) точка на шкале измеренных значений, левее которой располагается 50 % измеренных значений;

Q_3 – (75-й процентиль) точка на шкале измеренных значений, левее которой располагается 75 % измеренных значений.

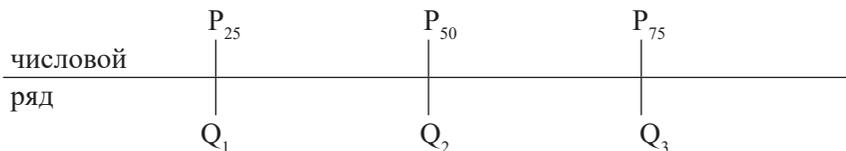


Рис. 5. Соотношение процентилей и кватилей

Например,

№	Показатель вербальной агрессии, баллы	№	Показатель вербальной агрессии, баллы
1	8	5	7
2	7	6	6
3	7	7	9
4	5	8	3

Найти P_{25} , P_{50} и P_{75}

а) 25-й процентиль (Q_1), $n=8$

$(p/100)*(n+1)=(25/100)*(8+1)=2,25$ – то есть между 2 и 3 порядковым номером

Порядковый номер	1	2	3	4	5	6	7	8
Значение признака	3	5	6	7	7	7	8	9

Порядковый номер: $2 + (3 - 2) * 0,25$

Значение признака: $5 + (6 - 5) * 0,25 = 5,25$

б) 50-й процентиль (Q_2 или Me), $n=8$

$(p/100)*(n+1)=(50/100)*(8+1)=4,5$ – то есть между 4 и 5 порядковым номером

Порядковый номер	1	2	3	4	5	6	7	8
Значение признака	3	5	6	7	7	7	8	9

Порядковый номер: $4 + (5 - 4) * 0,5$

Значение признака: $7 + (7 - 7) * 0,5 = 7$

в) 75-й процентиль (Q_3), $n=8$

$(i/100)*(n+1)=(75/100)*(8+1)=6,75$ – то есть между 6 и 7 порядковым номером

Порядковый номер	1	2	3	4	5	6	7	8
Значение признака	3	5	6	7	7	7	8	9

Порядковый номер: $6 + (7 - 5) * 0,75$

Значение признака: $7 + (8 - 7) * 0,5 = 7,5$

3. 95% доверительный интервал

– область, в которую попадает истинное значение среднего арифметического в 95% случаев. 95% доверительный интервал (95% ДИ) указывается независимо от распределения признака.

Есть нижний и верхний пределы.

$$\bar{x} \pm t * \frac{s}{\sqrt{n}}$$

где \bar{x} – среднее арифметическое

t – критерий Стьюдента*

s – стандартное отклонение

n – количество наблюдений

Примечание: * – значение критерия Стьюдента берется из таблицы Т-распределения (приложение 1) с учетом степеней свободы (количество значений, имеющих возможность свободно варьировать, df); где $df=n-1$, n – количество наблюдений

Например,

№	Показатель вербальной агрессии, баллы	№	Показатель вербальной агрессии, баллы
1	8	5	7
2	7	6	6
3	7	7	9
4	5	8	3

$$\bar{x} = 6,5 \text{ балл}$$

$$s = 1,9 \text{ балла}$$

$$n = 8$$

$$df = n - 1 = 8 - 1 = 7$$

$t = 2,36$ (т.к. мы рассчитываем 95%ДИ, то смотрим значение t для $df = 7$ при $p = 0,05$)

$$6,5 + 2,36 * \frac{1,9}{\sqrt{8}} = 8,1 = 8 - \text{верхний предел}$$

$$6,5 - 2,36 * \frac{1,9}{\sqrt{8}} = 4,9 = 5 - \text{нижний предел}$$

Таким образом, с 95% вероятностью мы можем утверждать, что в **популяции** средний балл вербальной агрессии колеблется от 5 до 8 баллов.

Запомните, чем больше участников исследования, тем уже диапазон признака, более достоверные данные.

Для того, чтобы определиться, как корректнее представлять количественный признак – в виде средней арифметической или медианы – необходимо проверить, подчиняется ли количественный признак закону нормально распределения. И, соответственно, в случае нормального распределения корректнее представлять данные в виде средней арифметической, в случае ненормального, – в виде медианы.

Нормальное распределение (распределение Гауссова) характеризуется тем, что крайние значения количественного признака в нем встречаются достаточно редко, а значения, близкие к средней величине – достаточно часто (рис. 5).

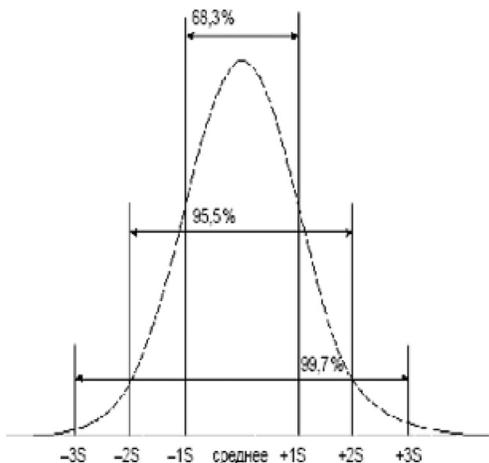


Рис. 5. Нормальное (Гауссово) распределение признака
 Примечание: s – стандартное отклонение

Таким образом, 68,3% данных отличается от среднего арифметического не более, чем на одно стандартное отклонение, 95,5% – на два и 99,7% – на три. Как правило, все нормативные значения лежат в диапазоне $\text{Mean} \pm 2\text{SD}$, а крайние значения (по 2,5% с каждой стороны) обозначают «плохое развитие» или «развитие выше нормы». Например, в случае с интеллектом 95% людей имеют нормальный уровень интеллекта, 2,5% – олигофрению, а 2,5% – гениальность.

Рассмотрим пример с заработной платой.

Организация №1

Размер зарплаты: 10тыс, 20тыс, 20тыс, 30тыс, 30тыс и 50тыс
 Mean = 26,6тыс
 Md = 25тыс
 Нормальное распределение количественного признака

Организация №2

Размер зарплаты: 10тыс, 20тыс, 20тыс, 30тыс, 30тыс и 500тыс
 Mean = 101,6тыс
 Md = 25тыс
 Ненормальное распределение количественного признака

Таким образом, мы видим, что в организации 1 среднее арифметическое и медиана практически совпадают, а в организации 2 – сильно отличаются, причем в сторону переоценки явления.

Существует три способа проверки количественного признака на нормальность распределения:

- по описательной статистике
- графический
- статистический

По описательной статистике количественный признак проверяют, как правило, в случае большого количества наблюдений. О нормальном распределении признака свидетельствует равенство средней арифметической медиане, а асимметрии с эксцессом нулю. Однако ситуаций, когда медиана равна среднему арифметическому и асимметрия с эксцессом равна нулю, в действительности не случается. Поэтому разница между средней арифметической и медианой не должна превышать 10%, а отношения A/m_A и E/m_E должны быть менее 3.

Например, средний возраст возникновения язвенной болезни 28 лет, а медианное значение – 29,9 лет. Разница между средним арифметическим и медианой составило 1,9 лет, что составляет 6,35%. Делаем вывод о том, что переменная «возраст возникновения язвенной болезни» имеет нормальное распределение.

Графический способ подразумевает построение гистограммы или квантильной диаграммы. Также более применим этот способ в случае большого количества наблюдений.

Например, гистограмма с демонстрацией нормального распределения признака (рис. 6) и с отклонением от нормального (рис. 7).

Статистический способ проверки на нормальность распределения осуществляется тогда, когда небольшое количество участников исследования. Применяются следующие статистические критерии – критерий Шапиро-Уилка или критерий Колмогорова-Смирнова. В случае, когда уровень статистической значимости больше 0,05, делается вывод о нормальном распределении количественного признака и, наоборот, меньше или равно 0,05 – о ненормальном.

Для описания качественного признака используют долю (проценты) и меру вариативности для доли (95% ДИ). Рассмотрим на примере распределения двух качественных признаков – пола и уровня физической агрессии. С этой целью строят так называемую таблицу сопряженности или кросстабуляцию (табл. 1)

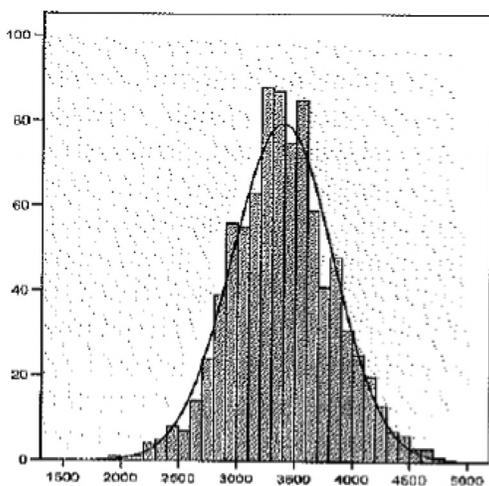


Рис. 6. Гистограмма, имеющая симметричное распределение признака

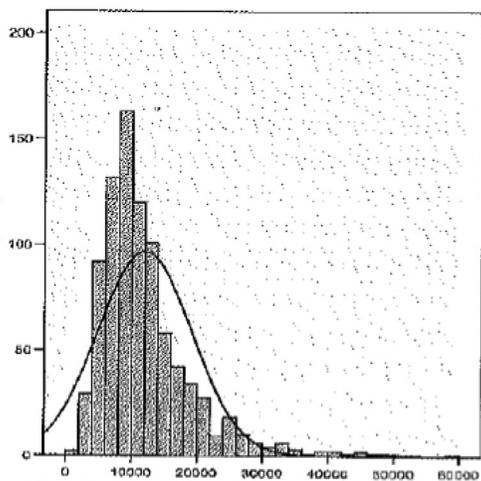


Рис. 7. Гистограмма, имеющая несимметричное распределение (смещение влево)

Таблица 1 демонстрирует описательную статистику для качественного признака; причем мы можем только констатировать распределение того или иного уровня агрессии, но не можем сказать, есть различия по полу или нет.

Пример таблицы сопряженности

Уровень физической агрессии	Пол, N-%	
	мужской, n=120	женский, n=144
низкий	93-77,5	122-84,7
высокий	27-22,5	22-15,3

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что такое зависимая и независимая переменная?
2. Приведите примеры качественных данных.
3. Чем непрерывные шкалы отличаются от дискретных?
4. Можно ли количественную шкалу перевести в номинальную?

Обоснуйте свой ответ.

5. Как называется шкала, которая имеет два противоположных значения?

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Дайте название шкалам (база данных 1)

База данных 1

№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
возраст, годы	образование салам (база данных 1)	уровень тревоги	вербальная агрессия, балл	средний балл по аттестату
22	Не высшее	Низкий	8	3,8
21	Не высшее	Средний	7	4,2
20	Не высшее	Высокий	7	4,8
19	Не высшее	Низкий	5	3,9
25	Высшее	Низкий	7	4,0
23	Высшее	Средний	7	4,7

2. Представьте ниже представленные данные в виде базы данных в Excel

№1	№2	№3	№4	№5
стаж работы, лет	семейное положение (база данных 1)	уровень негативизма	негативизм, балл	пол
3	женат	высокий	8	мужской
7	холост	средний	5	мужской
1	замужем	высокий	8	женский
12	женат	низкий	2	мужской
2	не замужем	низкий	1	женский
2	холост	низкий	2	мужской

3. В ходе оценки эффективности тренинга, направленного на снижение реактивной тревожности (в баллах) у спортсменов-подростков, были получены данные, представленные в базе данных 2. Задание – составьте базу данных в Excel, если также известно, что под кодом 1, 2 и 3 – девочки, а 4, 5 и 6 – мальчики

База данных 2

Код	1	2	3	4	5	6
До:	15	10	22	11	36	39
После:	14	11	15	10	23	25

1.2. Описательная статистика с применением статистических программ SPSS И STATA

Описательная статистика в программе SPSS

Для того, чтобы создать базу данных, необходимо зайти в программу SPSS (рис. 8).

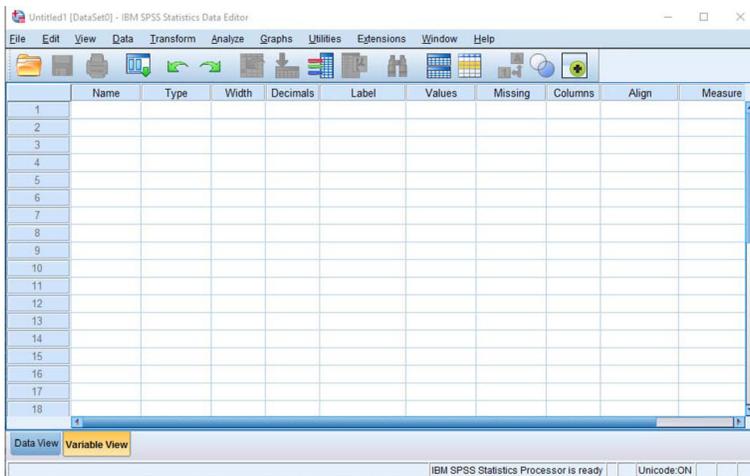


Рис. 8. База данных в SPSS

Данная программа включает две вкладки: Data View и Variable View. Вкладка Data View позволяет вносить данные в базу (рис. 9).

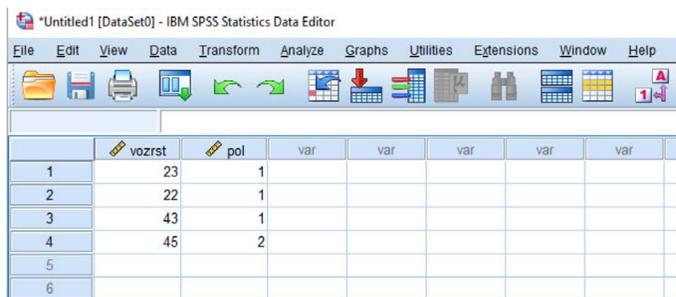


Рис. 9. Вкладка Data View

Прежде чем вносить данные лучше сначала создать шапку с наименованием переменных. Это позволяет сделать вкладка Variable View. Здесь есть ряд полезных опций; рассмотрим их более подробно:

- Name – название переменной
- Type – тип данных
- Decimals – количество цифр после запятой
- Label – пометка о переменной

- Values – характеристика значения переменной
- Missing – пропущенные значения
- Columns – ширина столбика с переменной в базе данных

Название переменной корректнее указывать одним словом; если все-таки необходимо прописать два и более слов, нужно использовать нижнее подчеркивание, например, Физическая_агрессивность.

Тип данных идет по умолчанию числовой (Numeric), но можно поставить текстовый (String), дату (Date) и т.д. (рис. 10).

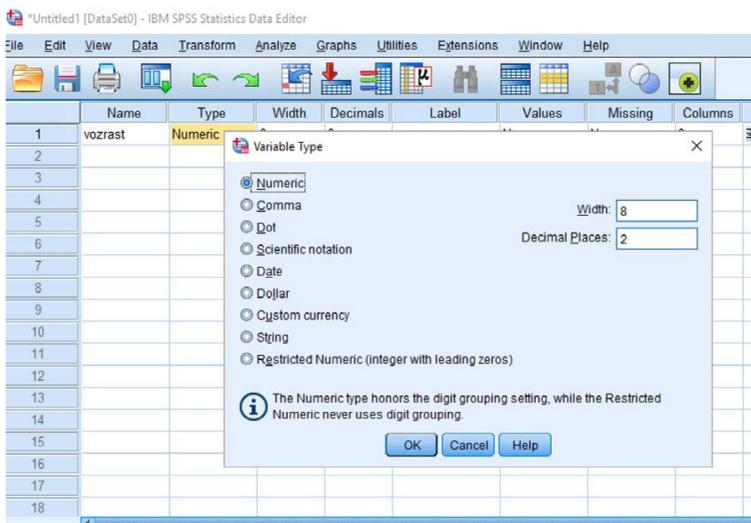


Рис. 10. Тип данных в программе SPSS

Если переменная имеет дробную часть, то в столбце Decimals необходимо указать, сколько цифр после запятой. По умолчанию стоит 2 цифры, например, 5,00.

В базе есть возможность дать более детальное пояснение названию переменной. Для этого в Label указываете, что подразумевается под коротким названием.

В случае, когда переменные качественные, но в базу мы вносим цифровое обозначение, можно прописать, что та или иная цифра обозначает. Для этого необходимо нажать правой кнопкой мыши на ячейку и внести нужную информацию, например, переменная пол, где 1 – мужской, 2 – женский (рис. 11).

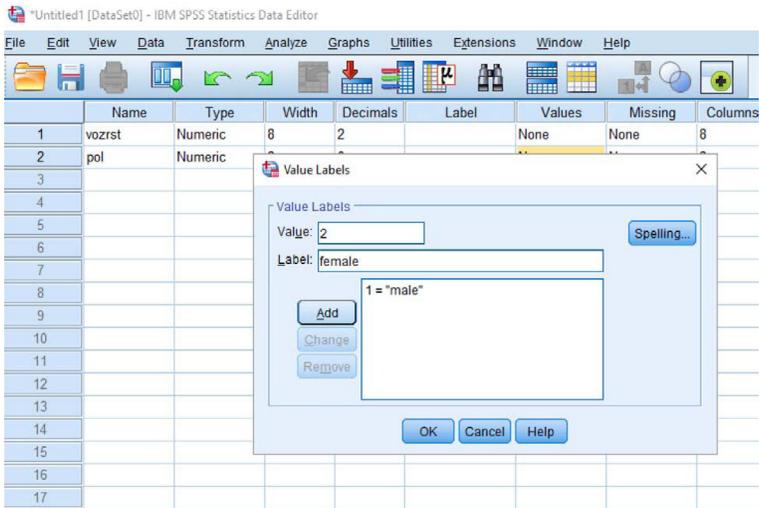


Рис. 11. Пояснение обозначений качественной переменной в программе SPSS

Данные можно вносить в базу просто цифрами (рис. 9), а можно выбирать вариант ответа, если сделали пометку в Variable Labels (рис. 12).

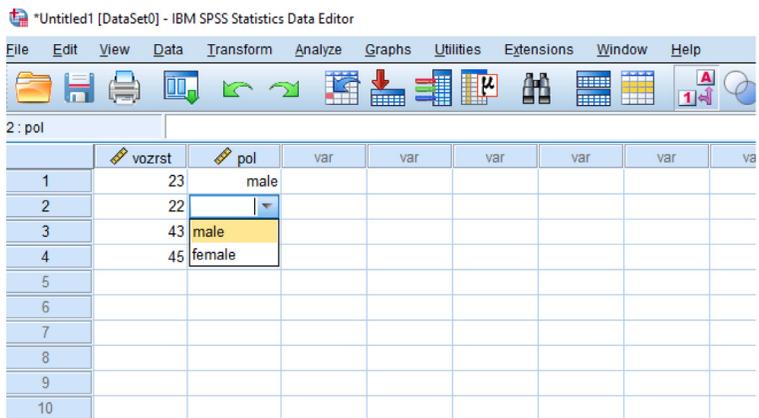


Рис. 12. Выбор опции в качественной переменной в программе SPSS

В случае, когда переменная у того или иного участника исследования отсутствует, то ячейку целесообразнее оставлять пустой. Если вы хотите пояснить, какое значение относится к пропущенным, то в столбике Missing можно это сделать, например, все значения 4 будут считаться, как пропущенные значения (рис. 13).

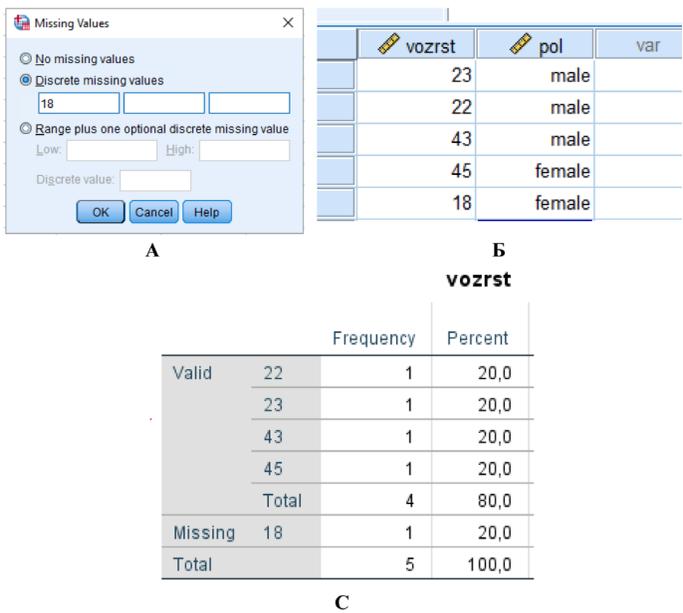


Рис. 13. Пример пропущенного значения в программе SPSS: А – указать какое число считать пропущенным, Б – в базе данных такое число встречается один раз, С – частотный анализ, где число 18 воспринимается как пропущенное значение

Columns – Ширина столбика с переменной в базе данных – по умолчанию стоит 8, но если вы хотите сузить столбик или расширить, то необходимо уменьшить или увеличить соответствующее число (рис. 14).

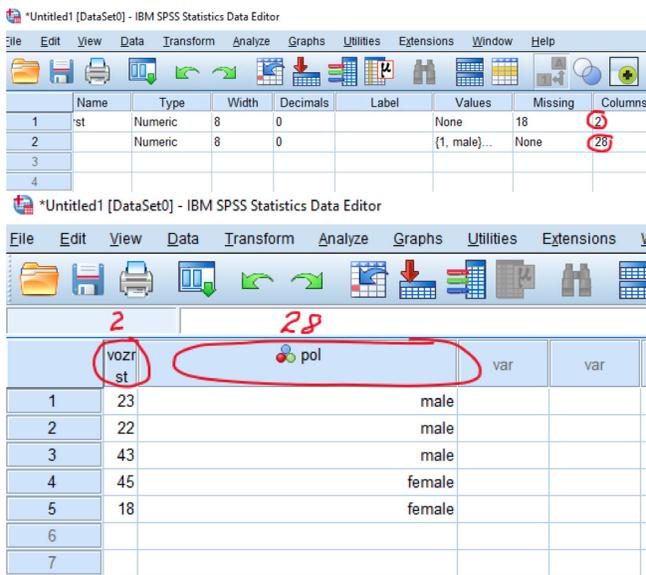


Рис. 14. Изменение ширины столбика с переменными в программе SPSS

Для того, чтобы выполнить описательную статистику, необходимо войти во вкладку Analyze (рис. 15).

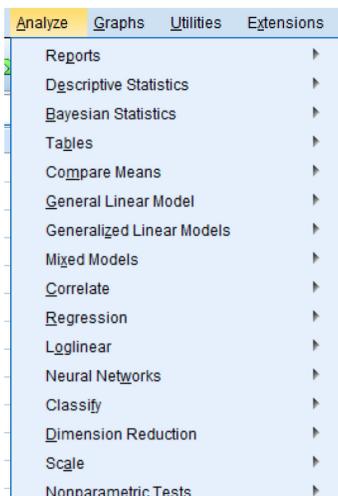


Рис. 15. Вкладка Analyze для проведения анализа, включая описательную статистику, в программе SPSS

Алгоритм выполнения описательной статистики:

– Descriptive statistics – Frequencies

– В открывшемся окне нужно перекинуть переменные, для которых необходимо рассчитать описательную статистику (рис. 16).

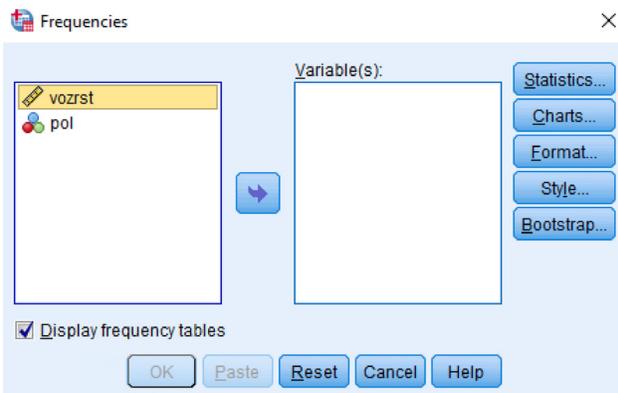


Рис. 16. Окно для выполнения описательной статистики в программе SPSS

В случае, когда у вас качественный признак (например, пол) и необходимо выполнить частотный анализ, достаточно переменную с помощью стрелки перекинуть в окошко Variable(s), а затем нажать ОК; уже по умолчанию стоит галочка для выполнения этой функции Display frequency tables (рис. 17).

		pol			
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	male	4	36,4	36,4	36,4
	female	7	63,6	63,6	100,0
Total		11	100,0	100,0	

Рис. 17. Результат выполнения описательной статистики для качественной переменной в SPSS

Если же вам необходимо выполнить описательную статистику

для количественного признака, то сначала также переносим нужную переменную в окошко Variable(s), затем нажимаем Statistics и там выделяем нужные меры (рис. 18).

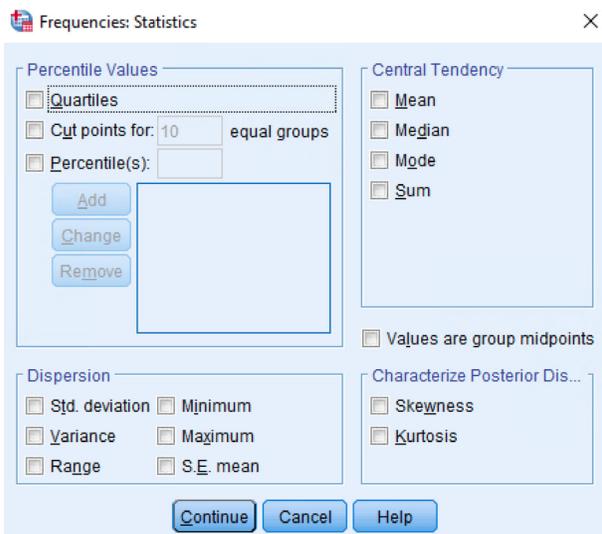


Рис. 18. Меры центральной тенденции и меры вариативности с помощью программы SPSS

Отмечаем галочкой нужную меру, например, квантили первый, второй и третий (Quartiles), средняя арифметическая (Mean), стандартное отклонение (Std. deviation) и нажимаем продолжить (Continue) (рис. 19).

Мы изучали переменную возраст и видим, что валидных значений (Valid) 11; пропущенных (Missing) 0; средняя арифметическая (Mean) 33,27; стандартное отклонение (Std. deviation) 13,2; медиана (Percentiles 50) 32; квантиль первый (Percentiles 25) 22; квантиль третий (Percentiles 75) 45.

Statistics		
vozrst		
N	Valid	11
	Missing	0
Mean		33,27
Std. Deviation		13,199
Percentiles	25	22,00
	50	32,00
	75	45,00

Рис. 19. Результат выполнения описательной статистики для количественной переменной в SPSS

Бывают ситуации, когда необходимо посчитать меры центральной тенденции и меры вариативности в зависимости от группирующей переменной. Для этого необходимо сначала зайти в окошко Data – Split File (рис. 20).

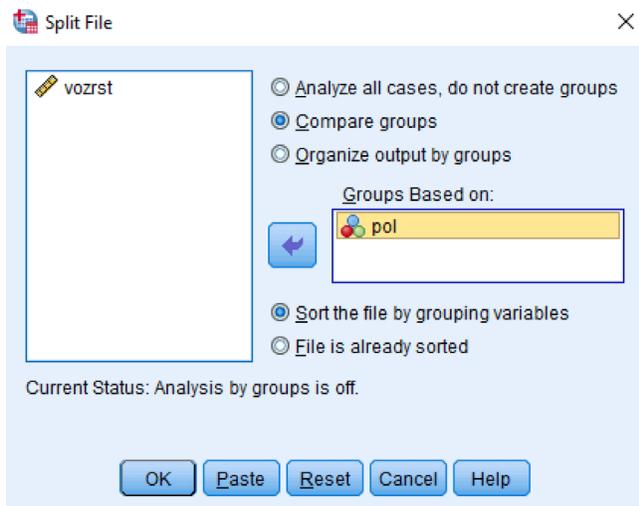


Рис. 20. Пример применения функции разбиение файла Split File в программе SPSS

Ставим точку напротив Compare groups. Группирующую переменную (например, пол) перекидываем в окошко Groups Based on и нажимаем ОК. Далее повторяем алгоритм для расчета описательной статистики для количественной переменной и получаем результат отдельно для каждого пола (рис. 21).

Statistics

vozrst			
male	N	Valid	4
		Missing	0
	Mean		33,00
	Std. Deviation		12,138
	Percentiles	25	22,25
		50	33,00
		75	43,75
female	N	Valid	7
		Missing	0
	Mean		33,43
	Std. Deviation		14,718
	Percentiles	25	18,00
		50	32,00
		75	45,00

Рис. 21. Результат выполнения описательной статистики для количественной переменной в SPSS в зависимости от пола

Таким образом, в группе мужчин – участвовало 4 (N Valid), пропущенных значение 0 (Missing), средняя арифметическая 33 (Mean), стандартное отклонение 12,1 (Std. Deviation), медиана 33 (Percentiles 50), квартиль первый 22,2 (Percentiles 25) и квартиль третий 43,7 (Percentiles 75); в группе женщин – участвовало 7 (N Valid), пропущенных значение 0 (Missing), средняя арифметическая 33,43 (Mean), стандартное отклонение 14,72 (Std. Deviation), медиана 32 (Percentiles 50), квартиль первый 18 (Percentiles 25) и квартиль третий 45 (Percentiles 75).

Для того чтобы рассчитать 95%ДИ для средней арифметической, необходимо зайти Analyze – Descriptive Statistics – Explore (рис. 22).

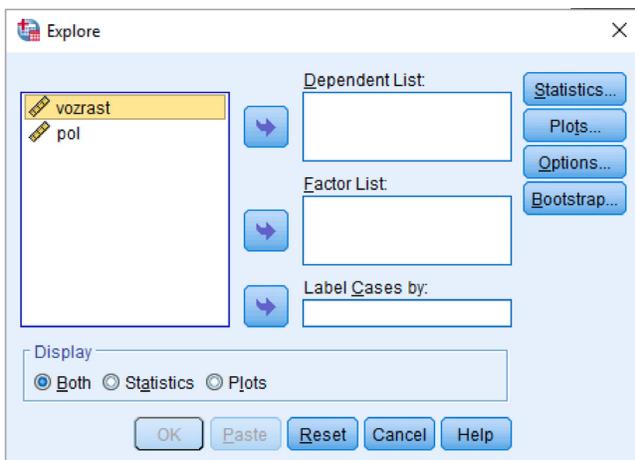


Рис. 22. 95% доверительный интервал для средней в программе SPSS

Выбираем количественный признак, для которого хотим рассчитать 95% доверительный интервал (например, переменная *vozrast*), и с помощью стрелки перекидываем в окошко *Dependent List*. Нажимаем *OK* (рис. 23).

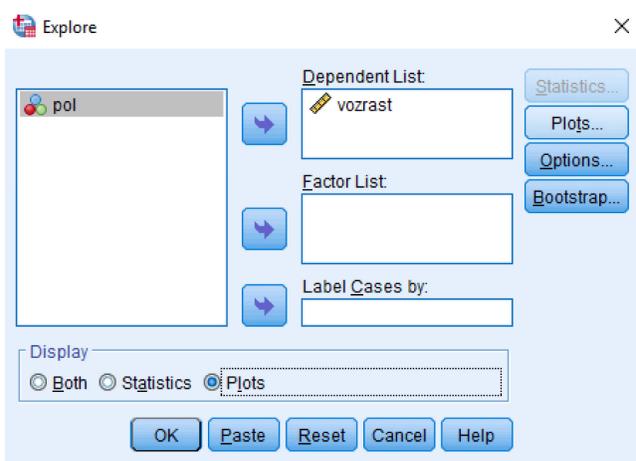
Descriptives

		Statistic	Std. Error	
vozrast	Mean	31,2500	3,16689	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	24,4999	
		Upper Bound	38,0001	
	5% Trimmed Mean	31,0000		
	Median	28,0000		
	Variance	160,467		
	Std. Deviation	12,66754		
	Minimum	12,00		
	Maximum	55,00		
	Range	43,00		
	Interquartile Range	21,75		
	Skewness	,322	,564	
	Kurtosis	-1,161	1,091	

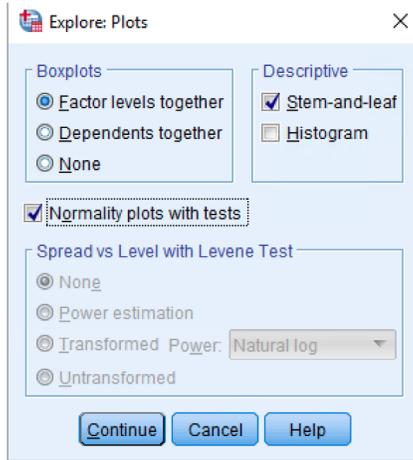
Рис. 23. Результат расчета 95% доверительного интервала для количественной переменной в программе SPSS

Данный алгоритм расчета описательной статистики позволяет рассчитать не только 95% доверительный интервал, но и другие параметры: Mean – средняя арифметическая, 95% Confidence Interval for Mean (Lower Bound and Upper Bound) – доверительный интервал для средней арифметической (нижний и верхний предел), Trimmed Mean – округленная средняя арифметическая, Median – медиана, Variance – дисперсия, Std.Deviation – стандартное отклонение, Minimum – минимальное значение, Maximum – максимальное значение, Range – размах, Interquartile Range – межквартильный размах, Skewness – асимметрия, Kurtosis – эксцесс.

Чтобы определить, как корректнее представлять количественный признак – в виде медианы или средней арифметической, – проверим количественный признак на нормальность распределения статистическим способом. Для этого необходимо зайти Analyze – Descriptive Statistics – Explore (рис. 24).



А



Б

Рис. 24. Проверка на нормальность распределение количественного признака в программе SPSS

Нажимаем внизу Plots и заходим во вкладку справа Plots (рис. 24А). Далее необходимо поставить галочку Normality plots with tests (рис. 24Б) и нажать Continue (рис. 25).

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
vozrast	,278	15	,003	,763	15	,001

a. Lilliefors Significance Correction

Рис. 25. Результат проверки на нормальность распределения статистическим способом в программе SPSS

На рисунке 25 представлен результат расчета по Колмогорову-Смирнову и Шапиро-Уилку. В случае, если р-уровень (Sig.) меньше или равно 0,05, принимается альтернативная гипотеза, свидетельствующая о том, что признак распределен ненормально; и, наоборот. В нашем примере р-уровень меньше 0,05, что говорит о ненормальном распределении количественного признака.

Описательная статистика в программе STATA

Для того, чтобы создать базу данных в STATA, необходимо зайти в данную программу и нажать на верхней панели Data Editor (рис. 26).

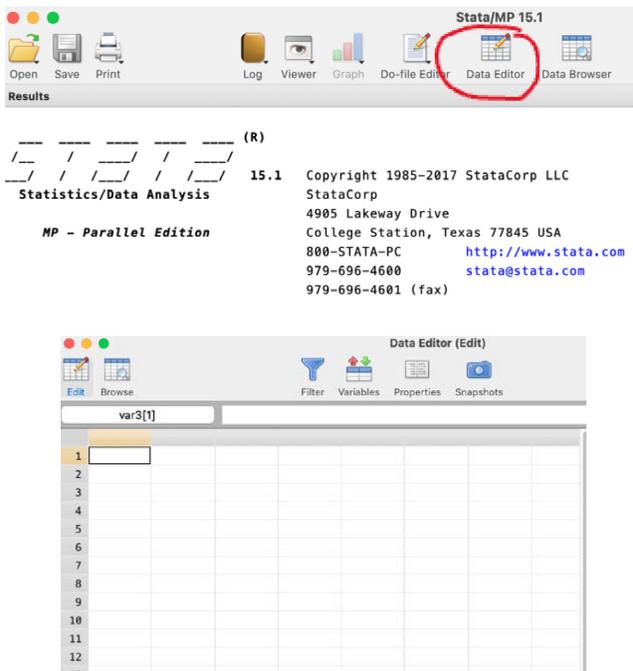


Рис. 26. Программа STATA

Прежде чем вносить данные, лучше сначала создать шапку с наименованием переменных. Для этого необходимо дважды кликнуть на столбик и появится соответствующая вкладка Create a new variable (Создать новую переменную) (рис. 27).

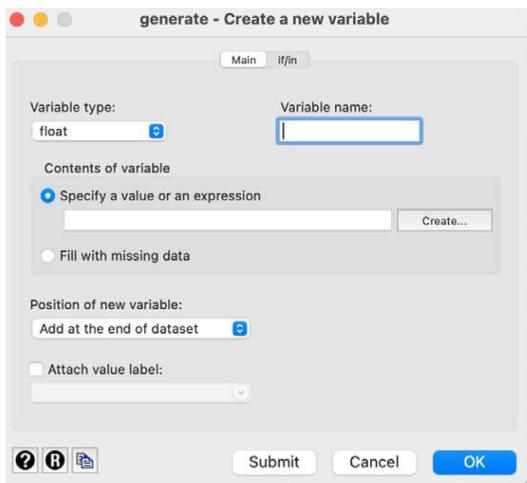


Рис. 27. Окно для создания новой переменной в базе данных с применением программы STATA

Variable type означает тип переменной. Он может быть числовым (float, long, double, int, byte) или текстовым (str). По умолчанию стоит числовой тип.

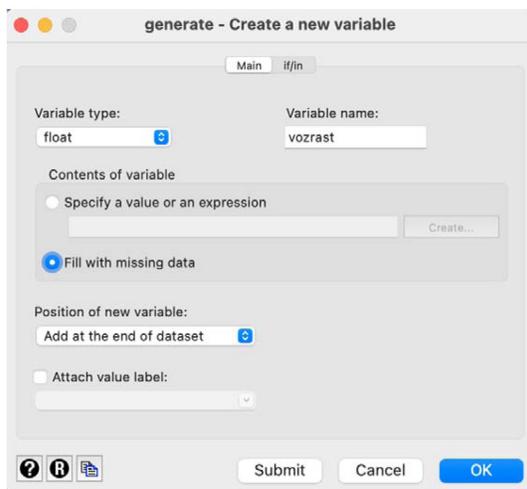
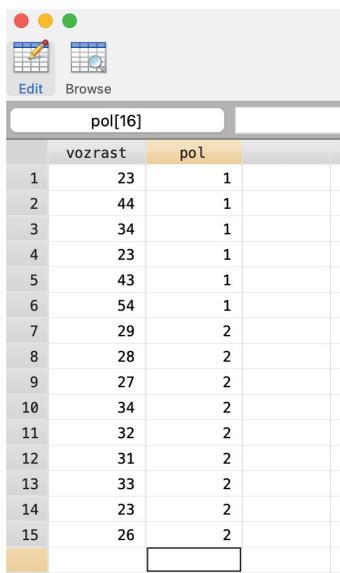


Рис. 28. Пример создания новой переменной в программе STATA

Variable name – это название переменной. Можно писать на русском языке, но лучше использовать англоязычную клавиатуру. Программа не позволяет удалять столбцы с русским названием.

Contents of variable – содержание переменной. Если вы не зададите никаких условий или формул, то необходимо выбрать Fill with missing data. Далее нажимаете ОК (рис. 28).

Рекомендуется не только количественный признак вводить в базу данных как числовой, но и качественный (рис. 29). Качественный признак можно также, как и в программе SPSS, пояснить.



	vozrast	pol
1	23	1
2	44	1
3	34	1
4	23	1
5	43	1
6	54	1
7	29	2
8	28	2
9	27	2
10	34	2
11	32	2
12	31	2
13	33	2
14	23	2
15	26	2

Рис. 29. Образец базы данных в программе STATA

Так, необходимо выделить нужный столбец (например, переменная pol) и правой кнопкой мыши найти опцию Data – Value labels – Manage value labels (рис. 30).

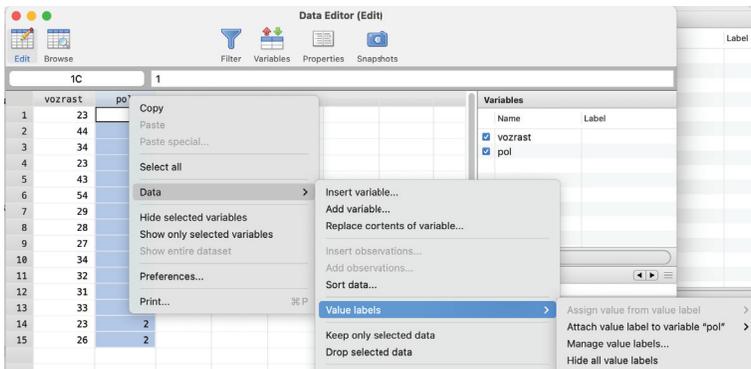


Рис. 30. Алгоритм присвоения описания качественного признака в программе STATA

Перед вами появится соответствующее окошко (рис. 31).

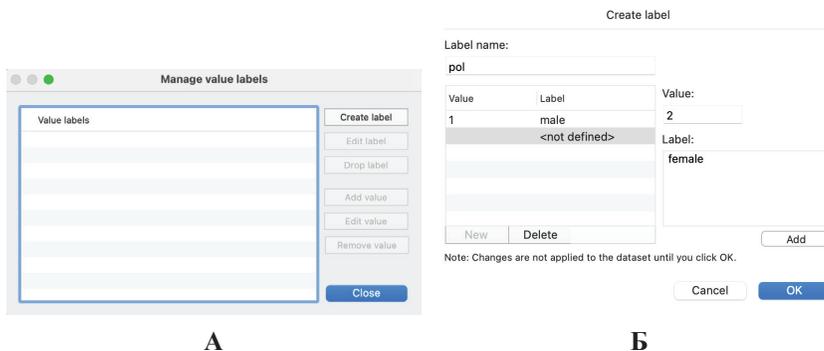


Рис. 31. Окошко для создания пояснения качественному признаку в программе STATA

Необходимо нажать Create label. В окошке Label name ввести название переменной, например, pol. Далее даем пояснение, где в Value ставим цифру, а в Label даем пояснение цифре; например, 1-male (то есть мужчины), 2-female (то есть женщины). Здесь не принципиально на каком языке вносить пояснение, можно и по-русски. Далее опять выделяем столбик и правой кнопкой мыши находим опции Data – Value labels – Attach value label to variable “pol” (рис. 32).

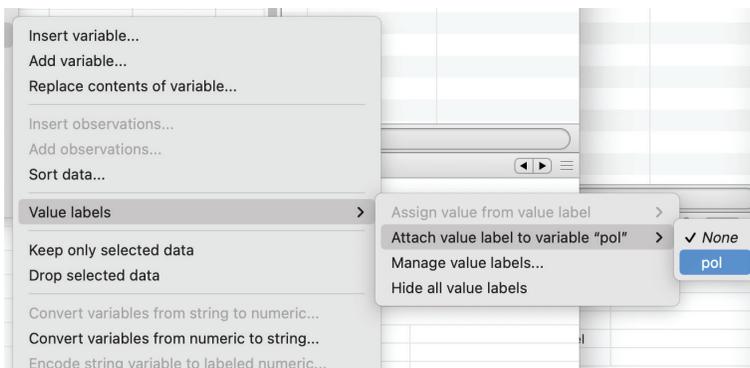


Рис. 32. Пояснение качественного признака в программе STATA

В случае, когда цифры/буквы окрашены в черный или синий цвет, то это обозначает, что признак числовой; в противном случае, цифры/буквы будут окрашены в красный цвет и будут восприниматься, как текстовые (рис. 33).

pol[1]		1
	vozrast	pol
1	23	male
2	44	male
3	34	male
4	23	male
5	43	male
6	54	male
7	29	female
8	28	female
9	27	female
10	34	female
11	32	female
12	31	female
13	33	female
14	23	female
15	26	female

Рис. 33. Пример присвоения описания качественному признаку в программе STATA

В случае, когда переменная у того или иного участника исследования отсутствует, то ячейку целесообразнее оставлять пустой.

Для того, чтобы выполнить описательную статистику, необходимо на верхней панели найти Statistics – Summaries, tables, and tests; а далее выбирается в зависимости от типа шкалы. Сначала рассмотрим описательную статистику для качественного признака. Statistics – Summaries, tables, and tests – Frequency tables – One-way table (рис. 34).

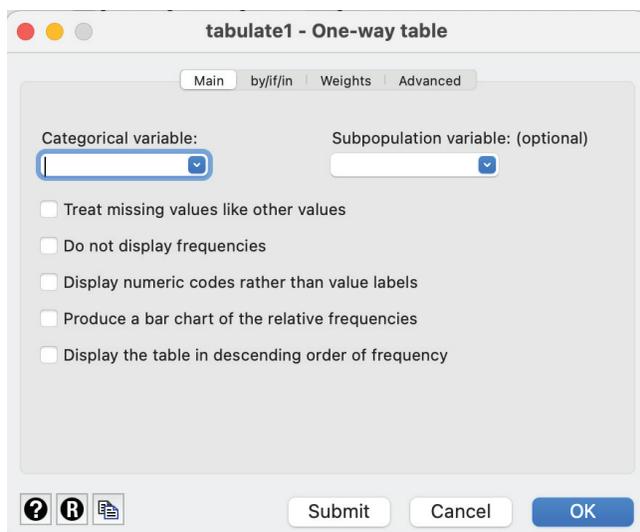


Рис. 34. Описательная статистика для качественного признака в программе STATA

В опции Categorical variable необходимо выбрать качественный признак, у которого хотим посмотреть частотный анализ, например, переменная pol (рис. 35).

pol	Freq.	Percent	Cum.
male	6	40.00	40.00
female	9	60.00	100.00
Total	15	100.00	

Рис. 35. Результат выполнения описательной статистики для качественного признака в программе STATA

Freq. означает частота встречаемости, Percent – процент, Cum. – кумулятивный процент. Таким образом, наша выборка представлена 6 мужчинами (40%) и 9 женщинами (60%).

Если в базе данных есть пропущенные значения и необходимо также посчитать их частоту встречаемости, то в окошке под названием переменной ставим галочку Treat missing values like other values (рис. 36).

pol	Freq.	Percent	Cum.
male	6	40.00	40.00
female	7	46.67	86.67
.	2	13.33	100.00
Total	15	100.00	

Рис. 36. Результат выполнения описательной статистики с пропущенными значениями для качественного признака в программе STATA

Таким образом, программа посчитала всех участников исследования, как за 100 процентов, включая тех, по кому отсутствовала информация.

Далее рассмотрим описательную статистику для количественного признака – Statistics – Summaries, tables, and tests – Summary and descriptive statistics – Summary statistics (рис. 37).

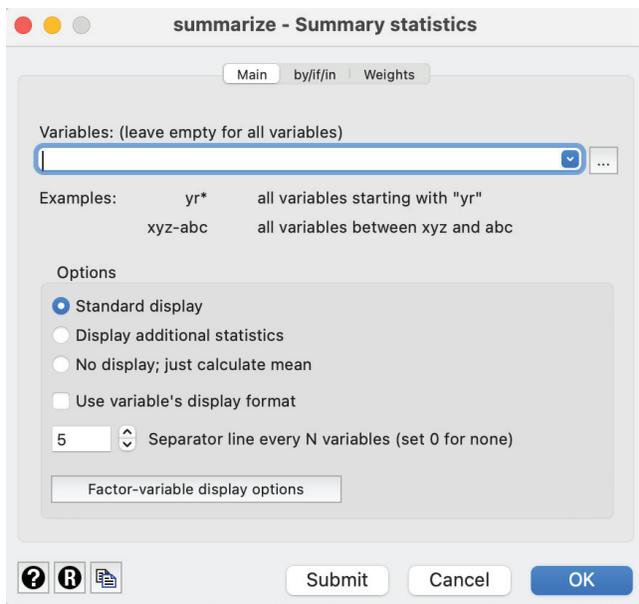


Рис. 37. Описательная статистика для количественного признака в программе STATA

Variables – выбираем те переменные, для которых необходимо посчитать меру центральной тенденции и меру вариативности, то есть количественные данные. По умолчанию стоит Standard display, позволяющий посчитать среднюю арифметическую, стандартное отклонение, минимальное значение и максимальное. Display additional statistics дает развернутую описательную статистику (рис. 38).

vozzrast				
	Percentiles	Smallest		
1%	23	23		
5%	23	23		
10%	23	23	Obs	15
25%	26	26	Sum of Wgt.	15
50%	31		Mean	32.26667
		Largest	Std. Dev.	8.811248
75%	34	34		
90%	44	43	Variance	77.6381
95%	54	44	Skewness	1.106099
99%	54	54	Kurtosis	3.557923

Рис. 38. Пример описательной статистики для количественного признака (возраст – vozzrast) в программе STATA

Percentiles – процентиля (25 процентиль – это квартиль первый, 50 процентиль – это медиана, 75 процентиль – это квартиль третий), Obs – количество наблюдений, Mean – средняя арифметическая, Std. Dev. – стандартное отклонение, Variance – дисперсия, Skewness – асимметрия, Kurtosis – эксцесс.

Если необходимо провести описательную статистику для каждой группы отдельно, то необходимо зайти во вкладку by/if/in и поставить галочку Repeat command by groups и выбрать группирующую переменную, например pol (рис. 39).

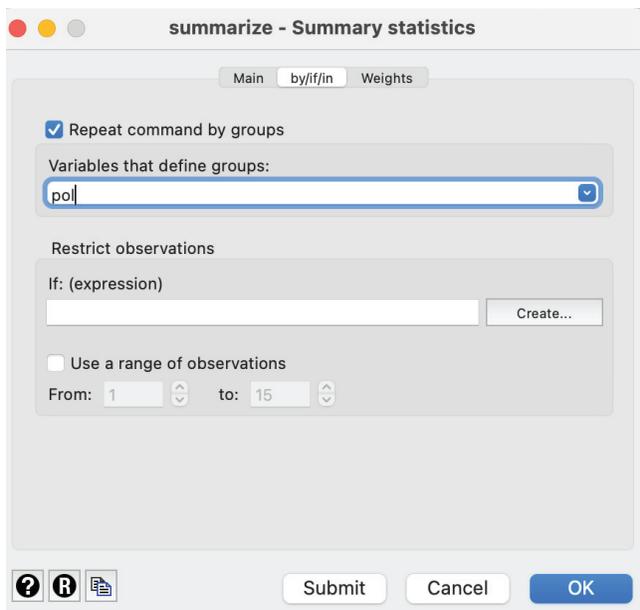


Рис. 39. Описательная статистика для количественного признака в зависимости от группирующей переменной с помощью программы STATA

Здесь можно также задать ограничения по наблюдениям (Restrict observations). В итоге программа посчитает описательную статистику для каждой группы отдельно (рис. 40).

```
-> pol = male
```

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
vozrast	6	36.83333	12.44856	23	54

```
-> pol = female
```

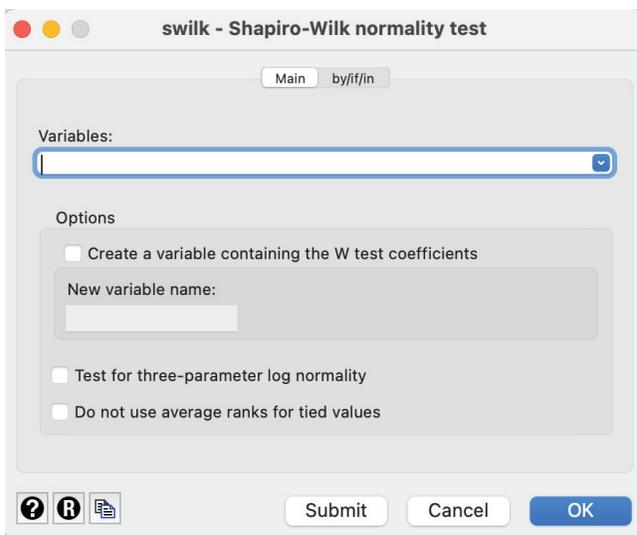
Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
vozrast	7	28	3.05505	23	32

Рис. 40. Пример описательной статистики для количественного признака (возраст – vozrast) в зависимости от пола (pol) в программе STATA

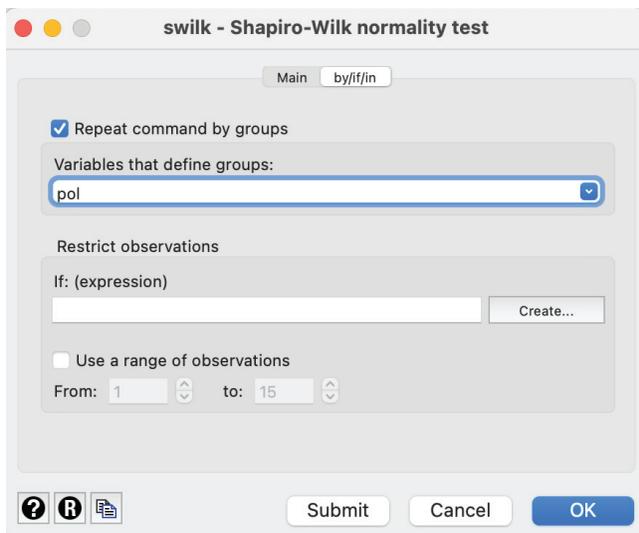
Таким образом, для мужского и женского пола отдельно был посчитан возраст – количество наблюдений (Obs), средняя арифметическая (Mean), стандартное отклонение (Std.Dev.), минимальное (Min) и максимальное (Max) значение.

Проверка количественного признака на нормальность распределения с помощью программы STATA. В случае малочисленных выборок рекомендуется статистический способ, например, используя критерий Шапиро-Уилка.

Статистический способ – Summaries, tables, and tests – Distributional plots and tests – Shapiro-Wilk normality test (рис. 41).



A



Б

Рис. 41. Проверка на нормальность распределения количественного признака с помощью программа STATA

На рисунке 41А в окошко Variables выбираем количественный признак, который хотим проверить на нормальность распределения (например, переменная *vozrast*). Если необходимо проверить, как распределен признак в зависимости от группирующей переменной, то необходимо в верхней панели нажать на вкладку *by/if/in* (рис. 41Б). В данном окошке необходимо поставить галочку у команды *Repeat command by groups* (повторить команду для группы) и выбрать группирующую переменную, например, *pol*.

На рисунке 42 представлен результат расчета по Шапиро-Уилку.

-> pol = male

Shapiro-Wilk W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
vozzrast	6	0.91893	1.004	0.006	0.49772

-> pol = female

Shapiro-Wilk W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
vozzrast	7	0.97926	0.272	-1.705	0.95588

Рис. 42. Пример проверки на нормальность распределения количественного признака статистическим способом с применением программы STATA

В случае, если p -уровень ($\text{Prob}>z$) меньше или равно 0,05, то принимается альтернативная гипотеза, свидетельствующая о том, что признак распределен ненормально; и, наоборот. В нашем примере p -уровень больше 0,05, что говорит о нормальном распределении количественного признака.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Можно ли из Excel файла перенести базу данных в программу SPSS и/или STATA?
2. В чем специфика занесения переменных, имеющих дробные числа в программе STATA?
3. Как называется вкладка в программе SPSS, которая позволяет осуществить описательную статистику?
4. Как называется вкладка в программе STATA, которая позволяет осуществить описательную статистику?

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. По методике САН (самочувствие, активность, настроение) изучался показатель «самочувствие» (в баллах) у студентов-психологов (1гр) и студентов лечебного факультета (2гр) старших курсов:

1гр	5	4	6	7	5	4	6	5	6	6	5	5	6	5
2гр	4	3	5	3	4	5	3	4	3	4	4	6		

Задание:

– составить базу данных в статистической программе SPSS или STATA

– посчитать описательную статистику в целом у студентов

– посчитать описательную статистику у студентов-психологов

– посчитать описательную статистику у студентов лечебного факультета

2. С помощью Торонтской алекситимической шкалы у студентов лечебного факультета изучался показатель алекситимии (в баллах):

45	34	33	47	48	78	83	28	34	35	47	48	50	68	69	50	33	34	28	26
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Задание:

– составить базу данных в статистической программе SPSS или STATA

– посчитать описательную статистику в целом у студентов

Раздел 2. АНАЛИТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ SPSS И STATA

2.1. Проверка статистических гипотез

Гипотеза – это научное предположение, выдвигаемое для объяснения какого-либо явления и требующее верификации. Гипотеза определяет главное направление научного поиска. Она является основным методологическим инструментом, организующим весь процесс исследования.

Различают научную (исследовательскую) и статистическую гипотезы. Научная гипотеза служит для организации исследования и формулируется как предполагаемое решение проблемы; статистическая – для организации процедуры сравнения регистрируемых признаков (предположение о виде или параметрах распределения случайной величины). Научная гипотеза – первична, статистическая – вторична.

Статистические гипотезы бывают *нулевыми и альтернативными*. Нулевая гипотеза (H_0) – предположение о том, что две популяции (μ_1 и μ_2), сравниваемые по одному или нескольким признакам, **не** отличаются друг от друга. Альтернативная гипотеза (H_1) – предположение о том, что две популяции (μ_1 и μ_2), сравниваемые по одному или нескольким признакам, отличаются друг от друга.

Например,

H_0 : показатель личностной тревожности не отличается у лиц мужского и женского пола

H_1 : показатель личностной тревожности отличается у лиц мужского и женского пола

Уровень статистической значимости (p) – это граница, условно выбранная для того, чтобы принять решение – стоит или не стоит отвергать нулевую гипотезу. Наиболее часто используемое значение – 0,05, т.е. исследователь допускает 5% вероятность возникновения ошибки. Обычно говорят, что для научных исследований достаточен уровень значимости 0,05, но если выводы, которые предстоит сделать по результатам проверки гипотез, связаны с большой ответственностью, то рекомендуется выбирать 0,01 или 0,001.

Если расчетное значение p меньше уровня значимости ($p \leq 0,05$), то H_0 отклоняется; если расчетное значение p больше уровня значимости ($p > 0,05$), то H_0 принимается.

Иначе говоря, уровень значимости – это вероятность отклонения H_0 , в то время как она верна. Ошибка, состоящая в том, что мы отклонили H_0 , в то время как она верна, называется ошибкой 1 рода (табл. 2). Вероятность такой ошибки отмечается как α . Чем меньше α , тем больше вероятность правильного решения.

Таблица 2

Сопоставление истинного различия и результатов теста

		Истинное различие	
		присутствует	отсутствует
Результат статистического теста	различие значимо	ВЕРНО	ОШИБКА 1 РОДА (α)
	различие незначимо	ОШИБКА 2 РОДА (β)	ВЕРНО

Важнейшей характеристикой любого статистического критерия является его мощность. Мощность критерия – это его способность выявлять различия, если они есть. Иначе, это его способность отклонить нулевую гипотезу об отсутствии различий, если она неверна. Ошибка, состоящая в том, что мы приняли H_0 , в то время как она не верна, называется ошибкой 2 рода (табл. 2).

Мощность может принимать любые значения от 0 до 1. Чем ближе мощность к единице, тем эффективнее критерий. Мощность определяется эмпирическим путем. Одни и те же задачи могут быть решены с помощью разных критериев, при этом обнаруживается, что некоторые критерии позволяют выявить различия там, где другие оказываются неспособными это сделать.

Этапы проверки статистических гипотез:

1. Сформулировать H_0 .
2. Вычислить фактическое значение статистического критерия.
3. Сопоставить фактическое значение статистического критерия с критическим.
4. Сделать вывод о том, отклоняется или принимается H_0 .

«Статистический критерий – это решающее правило, обеспечивающее надежное поведение, то есть принятие истинной и откло-

нение ложной гипотезы с высокой вероятностью». Статистические критерии обозначают также метод расчета определенного числа и само это число. В большинстве случаев для того, чтобы признать различия значимыми, необходимо, чтобы эмпирическое значение критерия превышало критическое, в некоторых критериях придерживаются противоположного правила. Эти правила оговариваются в описании каждого критерия.

В некоторых случаях расчетная формула критерия включает в себя количество наблюдений в исследуемой выборке, обозначаемое как n . В этом случае эмпирическое значение критерия одновременно является тестом для проверки статистических гипотез. По специальной таблице определяется, какому уровню статистической значимости различий соответствует данная эмпирическая величина.

В большинстве случаев, одно и то же эмпирическое значение критерия может оказаться значимым или незначимым в зависимости от количества наблюдений в выборке (n) или от так называемого количества степеней свободы, которое обозначается как df .

Среди возможных статистических критериев выделяют: односторонние и двусторонние, а также параметрические и непараметрические.

Понятие одностороннего либо двустороннего критерия связано с формулировкой гипотез. Если нулевая гипотеза формулируется о равенстве ($\bar{x}_1 = \bar{x}_2$), то для проверки используется *двусторонний критерий*; если же нулевая гипотеза формулируется о неравенстве ($\bar{x}_1 < \bar{x}_2$ или $\bar{x}_1 > \bar{x}_2$), то *односторонний*.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Чем научная гипотеза отличается от статистической?
2. Охарактеризуйте нулевую и альтернативную гипотезы.
3. «Уровень значимости» – что это такое?
4. Какое наиболее часто используемое в исследовании значение p -уровня?
5. При каком уровне значимости отклоняется нулевая гипотеза?
6. Перечислите этапы проверки статистических гипотез.
7. Дайте основную характеристику односторонних и двусторонних статистических критериев.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. В ходе изучения физической агрессии у мальчиков и девочек младшего школьного возраста выявилось, что уровень статистической значимости равен 0,048. Можем ли мы утверждать, что есть статистически значимые различия в показателе агрессивности между мальчиками и девочками младшего школьного возраста? Обоснуйте свой ответ

2. До проведения программы по снижению эмоциональной напряженности у детей младшего школьного возраста среднее значение показателя «эмоциональная напряженность» было 32,3 балла, после – 28,7 баллов. Можем ли мы утверждать, что программа положительно повлияла? Обоснуйте свой ответ.

2.2. Параметрические методы

Параметрические методы оперируют параметрами распределения, поэтому и называются параметрическими. В частности, критерий Стьюдента и дисперсионный анализ основаны на сравнении средних и дисперсий. Однако эти параметры корректно описывают только нормально распределенную совокупность.

Параметрические методы применяются в случае количественных переменных, подчиняющихся закону нормального распределения. Выбор критерия зависит от двух условий: количество выборов/групп и зависимая/независимая выборка (табл. 3).

Таблица 3

Обзор параметрических критериев

Количество выборов/ групп	Зависимая/ независимая выборка	Название параметрического критерия
1	Эталонная величина	Одновыборочный критерий Стьюдента
2	Н	Критерий Стьюдента для независимых выборок (или двухвыборочный критерий Стьюдента, или Т-тест для независимых выборок)
2	З	Критерий Стьюдента для зависимых выборок (или парный критерий Стьюдента, или Т-тест для зависимых выборок)

Количество выборов/ групп	Зависимая/ независимая выборка	Название параметрического критерия
3 и более	Н	Однофакторный дисперсионный анализ для независимых выборок
3 и более	З	Однофакторный дисперсионный анализ для повторных наблюдений

Под зависимой выборкой подразумевается одна и та же группа людей, которая сравнивается по одному и тому же показателю в динамике; например, мальчики 5 класса сравниваются по показателю физическая агрессия на начало учебного года, в середине и в конце учебного года.

Под независимой выборкой подразумевается две и более групп, которые сравниваются по одному и тому же показателю; например, группа мальчиков и группа девочек 5 класса сравниваются по показателю «физическая агрессия».

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Почему параметрические методы называются параметрическими?
2. Что значит независимая выборка?
3. Что значит зависимая выборка?

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Изучалось настроение с помощью опросника САН в начале рабочего дня и в конце. Какой параметрический критерий здесь подойдет, чтобы доказать, что показатель «настроение» в конце рабочего дня стал ниже по сравнению с началом рабочего дня?

2. Сравнивался показатель «вербальная агрессия» между мужчинами и женщинами. Какой параметрический критерий здесь подойдет, чтобы сравнить мужчин и женщин по данному показателю?

2.2.1. Параметрические методы с применением статистических программ SPSS и STATA

Одновыборочный критерий Стьюдента

Одновыборочный критерий Стьюдента основывается на сравне-

нии среднего значения данной выборки с некоторой эталонной величиной.

Условия применения:

- количественный признак
- нормальное распределение признака в популяции, из которого отобрана выборка
- эталонная величина, представленная средним значением

Например, группа студентов физико-математического факультета Университета А имеет средний показатель вербального интеллекта – 131,9 (в баллах); $s=6,21$. В то время как по данным мониторинга средний показатель вербального интеллекта у всех студентов Университета А – 127,32 (в баллах). Можно ли сказать, что показатель вербального интеллекта у студентов физико-математического факультета Университета А выше, чем у студентов данного университета в целом?

H_0 : среднее значение показателя вербального интеллекта не отличается от эталонной величины ($p > 0,05$)

H_1 : среднее значение показателя вербального интеллекта отличается от эталонной величины ($p \leq 0,05$)

Рассмотрим применение Одновыборочного критерия Стьюдента в статистических программах.

Одновыборочный критерий Стьюдента в программе SPSS

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы SPSS (рис. 43).

*Untitled1 [DataSet0] - IBM SPSS Statistics Data Editor

	IQ	var	var	
1	135			
2	140			
3	128			
4	133			
5	132			
6	130			
7	122			
8	138			
9	135			
10	120			
11	142			
12	136			
13	128			
14	127			
15	133			
16				

Рис. 43. База данных в программе SPSS

Выбираем Одновыборочный критерий Стьюдента – Analyze – Compare Means – One-Sample T Test (рис. 44).

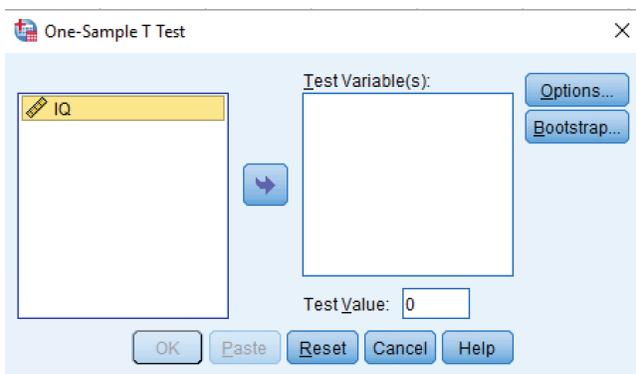


Рис. 44. Окно для выполнения Одновыборочного критерия Стьюдента в программе SPSS

Количественный признак, например показатель интеллекта (IQ), переносим в окошко Test Variable(s). Эталонная величина вносится в окошко Test Value (рис. 45).

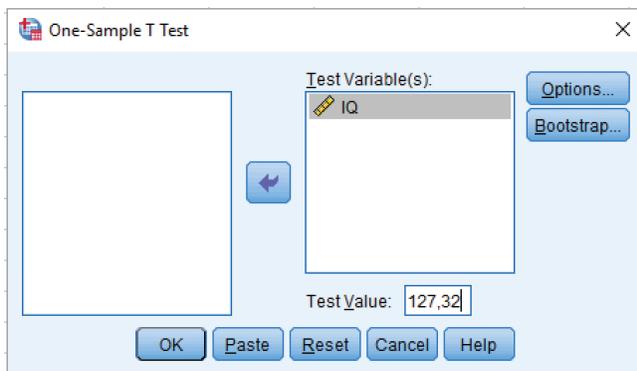


Рис. 45. Применение Одновыборочного критерия Стьюдента в программе SPSS

Далее нажимается ОК. Результат Одновыборочного критерия Стьюдента представлен на рисунке 46.

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
IQ	15	131,93	6,216	1,605

One-Sample Test

Test Value = 127,32

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
IQ	2,874	14	,012	4,613	1,17	8,06

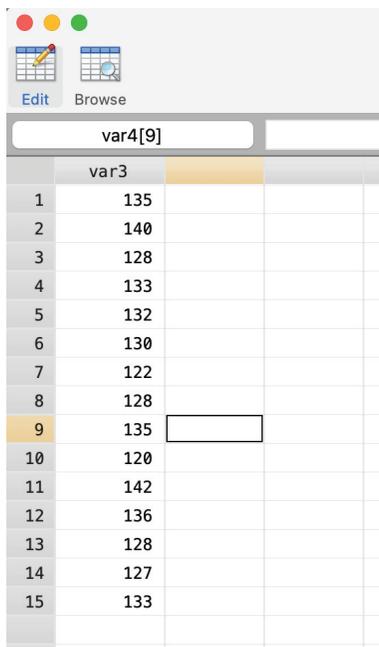
Рис. 46. Результат применения Одновыборочного критерия Стьюдента в программе SPSS

Таблица One-Sample Statistics демонстрирует описательную статистику: количество наблюдений (N), среднюю арифметическую (Mean), стандартное отклонение (Std. Deviation) и ошибку среднего

(Std. Error Mean). Таблица One-Sample Test показывает значение статистического критерия (t), количество степеней свободы (df), уровень статистического критерия (двустороннего) (Sig.), разницу между выборочным средним и эталонной величиной (Mean Difference), а также 95% доверительный интервал для разницы (95% Confidence Interval of the Difference). В связи с тем, что уровень статистической значимости меньше 0,05, то принимается альтернативная гипотеза, которая свидетельствует о том, что среднее значение показателя вербального интеллекта (IQ) отличается от эталонной величины.

Одновыборочный критерий Стьюдента в программе STATA

Составим базу данных по выше представленному примеру (показатель вербального интеллекта) с применением программы STATA (рис. 47).



	var3	var4[9]
1	135	
2	140	
3	128	
4	133	
5	132	
6	130	
7	122	
8	128	
9	135	
10	120	
11	142	
12	136	
13	128	
14	127	
15	133	

Рис. 47. База данных в программе STATA

Выбираем Одновыборочный критерий Стьюдента – Statistics – Summaries, tables, and tests – Classical tests of hypotheses – t test (mean comparison test) (рис. 48).

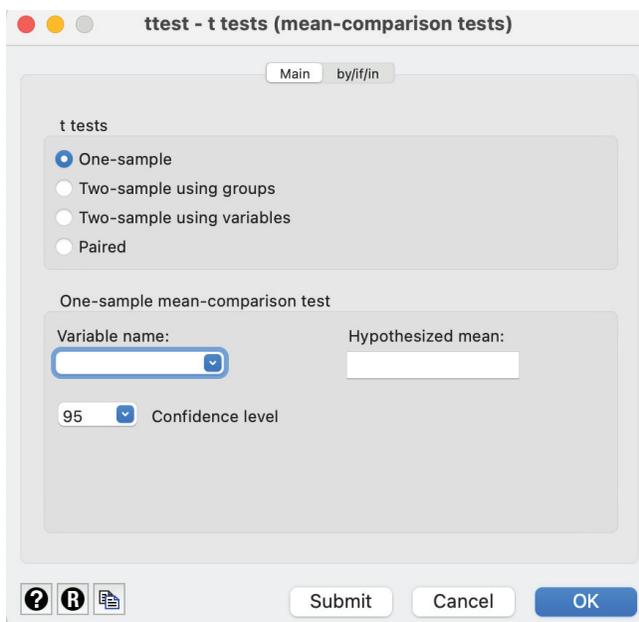


Рис. 48. Окно для выполнения одновыборочного критерия Стьюдента в программе STATA

Одновыборочный критерий Стьюдента стоит по умолчанию One-sample. В окошко Variable name необходимо выбрать количественный признак, например IQ. Эталонная величина вносится в окошко Hypothesized mean (рис. 49).

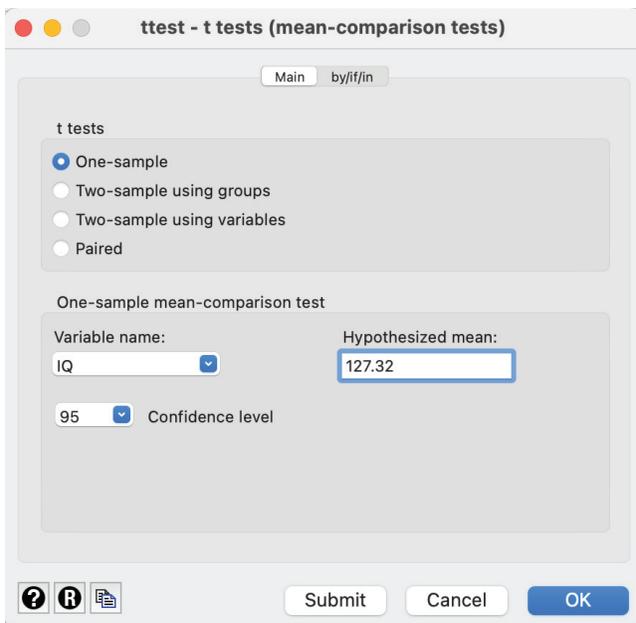


Рис. 49. Применение Одновыборочного критерия Стьюдента в программе STATA

Далее нажимается ОК. Результат Одновыборочного критерия Стьюдента представлен на рисунке 50.

```

One-sample t test
-----
Variable |      Obs      Mean   Std. Err.   Std. Dev.   [95% Conf. Interval]
-----+-----
      IQ |         15   131.2667   1.562863    6.052941   127.9147   134.6187
-----+-----
      mean = mean(IQ)
Ho: mean = 127.32
-----+-----
      Ha: mean < 127.32      Ha: mean != 127.32      Ha: mean > 127.32
Pr(T < t) = 0.9879      Pr(|T| > |t|) = 0.0243      Pr(T > t) = 0.0121
-----+-----
                                t = 2.5253
                                degrees of freedom = 14

```

Рис. 50. Результат применения Одновыборочного критерия Стьюдента в программе STATA

Таблица на рисунке 50 демонстрирует название переменной (Variable), количество наблюдений (Obs), среднюю арифметическую (Mean), ошибку среднего (Std. Err), стандартное отклонение (Std. Dev.) и 95% доверительный интервал (95% Conf. Interval). Под таблицей представлено значение статистического критерия (t), количество степеней свободы (df), а также p-уровень ($\Pr(|T| > |t|)$). В связи с тем, что уровень статистического критерия меньше 0,05, то принимается альтернативная гипотеза, которая свидетельствует о том, что среднее значение показателя вербального интеллекта (IQ) отличается от эталонной величины.

Критерий Стьюдента для независимых выборок

или двухвыборочный критерий Стьюдента, основывается на сравнении разности между средними двух изучаемых групп с точностью оценки этой разности.

Условия применения:

- количественный признак
- две независимые (несвязанные) выборки
- нормальное распределение признака в популяции, из которых отобраны выборки
- равенство дисперсий изучаемого признака в популяции, из которых отобраны выборки.

Некоторые исследователи не рекомендуют применение данного критерия, если хотя бы в одной из выборок менее 30 наблюдений.

Применение этого критерия не предполагает численного равенства выборок. Кроме того, следует помнить, что проверка на нормальность распределения признака должна осуществляться для каждой группы. Например, если осуществляется сравнение разностей между средними по показателю тревожности у юношей и девушек, то смотрится распределение показателя тревожности, как у юношей, так и у девушек отдельно. В случае, когда одна группа имеет нормальное распределение признака, а другая – ненормальное, то рекомендуется применять непараметрический его аналог.

Например, изучался показатель оптимизма у мужчин, мотивированных на успех, и мужчин, не мотивированных на успех. Можно ли утверждать, что показатель оптимизма выше у мужчин, мотивированных на успех?

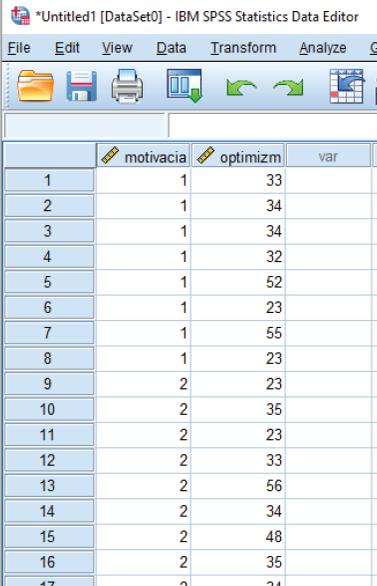
H_0 : средние значения показателя «оптимизм» у мужчин, мотивированных и не мотивированных на успех, не отличаются ($p > 0,05$)

H_1 : средние значения показателя «оптимизм» у мужчин, мотивированных и не мотивированных на успех, отличаются ($p \leq 0,05$)

Рассмотрим применение двухвыборочного критерия Стьюдента в статистических программах.

Критерий Стьюдента для независимых выборок в программе SPSS

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы SPSS (рис. 51).



	motivacia	optimizm	var
1	1	33	
2	1	34	
3	1	34	
4	1	32	
5	1	52	
6	1	23	
7	1	55	
8	1	23	
9	2	23	
10	2	35	
11	2	23	
12	2	33	
13	2	56	
14	2	34	
15	2	48	
16	2	35	
17	2	34	

Рис. 51. База данных для применения двухвыборочного критерия Стьюдента в программе SPSS

На рисунке 51 представлена база данных для применения двухвыборочного критерия Стьюдента, где демонстрируется количественный признак *optimizm* и качественный – *motivacia* (причем 1 – мотивированные на успех, 2 – не мотивированные на успех). Выбираем

двувывборочный критерий Стьюдента: Analyze – Compare Means – Independent-Samples T Test... (рис. 52).

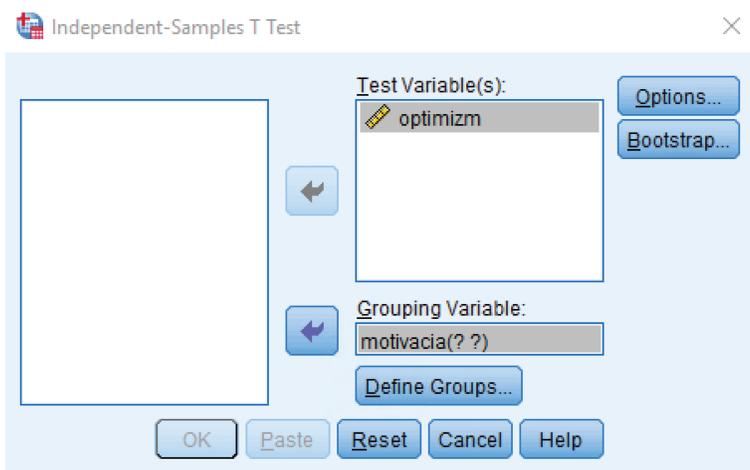


Рис. 52. Применение двувывборочного критерия Стьюдента в программе SPSS

Переменную *optimizm* с помощью стрелки перекидываем в окошко Test Variable(s). Переменную *motivacia* также с помощью стрелки перекидываем в окошко Grouping variable. Далее нажимаем Define Groups для того, чтобы пояснить, какие группы хотим сравнить (рис. 53).

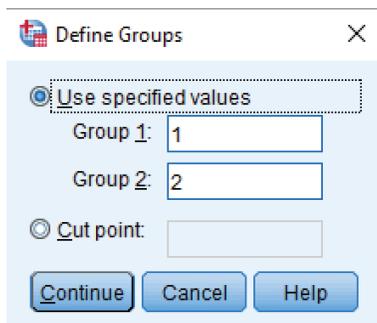


Рис. 53. Определение групп сравнения в программе SPSS

Так как сравниваем группы 1 и 2, то заносим соответствующие цифры в окошки и нажимаем Continue. Получаем следующие результаты, представленные на рисунке 54.

Group Statistics						
	motivacia	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	
optimizm	1	8	35,75	11,877	4,199	
	2	9	35,67	10,607	3,536	

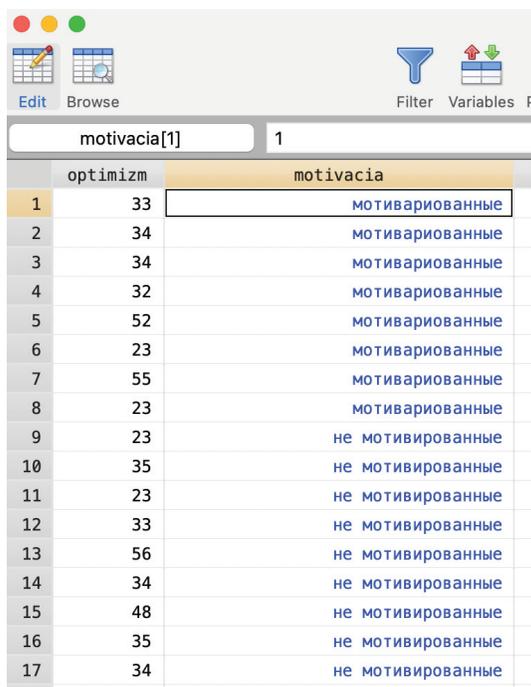
Independent Samples Test						
Levene's Test for Equality of Variances						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
optimizm	Equal variances assumed	,212	,652	,015	15	,988
	Equal variances not assumed			,015	14,199	,988

Рис. 54. Результаты применения двухвыборочного критерия с применением программы SPSS

Первая таблица Group Statistics демонстрирует нам описательную статистику для каждой группы мотивации (1 – мотивированные на успех, 2 – не мотивированные на успех): количество наблюдений (N), средняя арифметическая (Mean), стандартное отклонение (Std. Deviation) и ошибка среднего (Std. Error Mean). Таблица Independent Samples Test показывает сначала результат теста Ливене (Levene's Test for Equality of variances) на равенство дисперсий. В случае, если тест Ливене больше 0,05, то делается вывод о равенстве дисперсий, и далее значения смотрятся по строчке Equal variances assumed; в противном случае, – по строчке Equal variances not assumed. В нашем примере выполняется условие равенства дисперсий, соответственно, смотрим р-уровень по верхней строчке. Уровень статистической значимости больше 0,05 ($p=0,988$), значит принимается нулевая гипотеза, которая свидетельствует о том, что средние значения показателя «оптимизм» у мужчин, мотивированных и не мотивированных на успех, не отличаются.

Критерий Стьюдента для независимых выборок в программе STATA

Составим базу данных по выше представленному примеру (показатель оптимизма у мотивированных на успех мужчин) с применением программы STATA (рис. 55).



	optimizm	motivacia
1	33	мотивированные
2	34	мотивированные
3	34	мотивированные
4	32	мотивированные
5	52	мотивированные
6	23	мотивированные
7	55	мотивированные
8	23	мотивированные
9	23	не мотивированные
10	35	не мотивированные
11	23	не мотивированные
12	33	не мотивированные
13	56	не мотивированные
14	34	не мотивированные
15	48	не мотивированные
16	35	не мотивированные
17	34	не мотивированные

Рис. 55. База данных для применения двухвыборочного критерия Стьюдента в программе STATA

На рисунке 55 представлена база данных для применения двухвыборочного критерия Стьюдента, где демонстрируется количественный признак `optimizm` и качественный – `motivacia`. Выбираем двухвыборочный критерий Стьюдента: `Summaries, tables, and tests – Classical tests of hypotheses`. Сначала необходимо проверить условие равенства дисперсии, поэтому выбираем `Robust equal-variance test` (рис. 56).

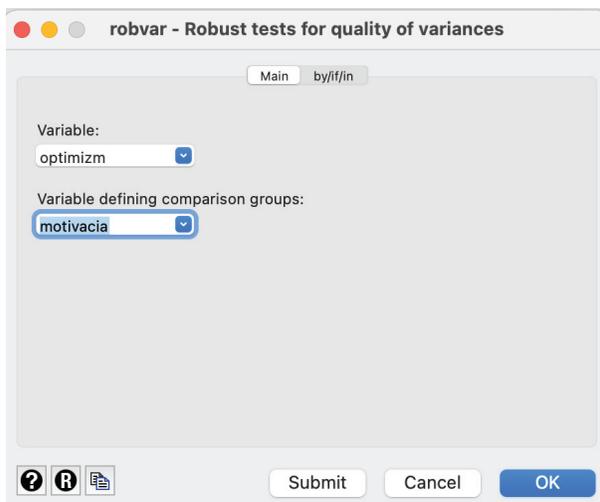


Рис. 56. Проверка условия равенства дисперсий в программе STATA

В окошке Variable выбираем количественный признак (например, optimism), в окошке Variable defining comparison groups – группирующую переменную motivacia и нажимаем ОК. В результате мы получаем таблицу с p-уровнем (рис. 57).

```
. robvar optimizm, by(motivacia)
```

motivacia	Summary of optimizm		Freq.
	Mean	Std. Dev.	
мотиварио	35.75	11.877349	8
не мотиви	35.666667	10.606602	9
Total	35.705882	10.861427	17

W0 = 0.21178689 df(1, 15) Pr > F = 0.65197099

Рис. 57. Результат проверки условия равенства дисперсий в программе STATA

Значение критерия составило 0,212, а уровень статистической значимости – 0,652; что меньше 0,05. Соответственно, делаем вы-

вод о том, что дисперсии равны. Поэтому путь для выбора двухвыборочного критерия следующий: Summaries, tables, and tests – Classical tests of hypotheses – t test (mean-comparison test) (рис. 58).

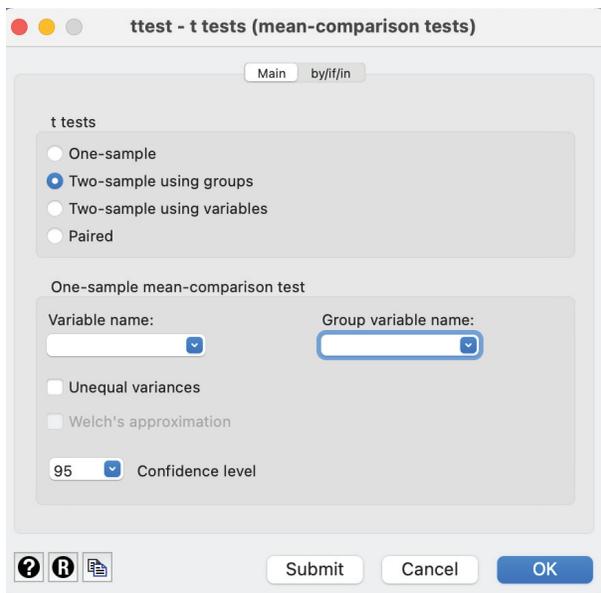


Рис. 58. Окно для выполнения двухвыборочного критерия Стьюдента в программе STATA

В окошко Variable name выбираем количественный признак (что сравниваем), а в окошко Group variable name – группирующую переменную (у кого сравниваем). Если условие равенства дисперсий выполняется, то нажимаем ОК; если нет, то ставим галочку Unequal variances. Рассмотрим результаты для того (рис. 59) и другого случая (рис. 60).

Таблица на рисунке 60 показывает также результат описательной статистики и аналитической; причем делается коррекция в связи с невыполнением условия равенства дисперсий. Следовательно, в данном примере p -уровень слегка изменился). Уровень статистической значимости $> 0,05$ ($p = 0,988$), значит, принимается нулевая гипотеза.

Критерий Стьюдента для зависимых выборок

или парный критерий Стьюдента, основывается на сравнении средних величин двух связанных выборок.

Условия применения:

- количественный признак
- две связанные выборки
- нормальное распределение разности между значениями изучаемого признака в группах
- каждая из изучаемых пар должна быть независима от остальных пар наблюдений

Нормальное распределение разности между значениями изучаемого признака в группах проверяется путем создания новой переменной, каждое из значений которой будет представлять собой $x_2 - x_1$, где x_2 – индивидуальное значение переменной после вмешательства, x_1 – индивидуальное значение переменной до вмешательства.

Независимость пар определяется дизайном исследования.

Например, у пациентов, желающих отказаться от курения, проверяли показатель «агрессивность» до начала терапии (1 измерение) и после (2 измерение).

H_0 : средние значения показателя «агрессивность» у мужчин, желающих отказаться от курения, до и после терапии не отличаются ($p > 0,05$).

H_1 : средние значения показателя «агрессивность» у мужчин, желающих отказаться от курения, до и после терапии отличаются ($p \leq 0,05$)

Рассмотрим применение Парного критерия Стьюдента в статистических программах.

Критерий Стьюдента для зависимых выборок в программе SPSS

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы SPSS (рис. 61).

*Untitled1 [DataSet0] - IBM SPSS Statistics Data Editor

File Edit View Data Transform Analyze Gr

14 : agressivnost2

	agressivnost1	agressivnost2
1	17	19
2	18	22
3	15	16
4	22	29
5	21	28
6	19	25
7	20	22
8	17	16
9	18	19
10	19	27
11	20	19
12	13	15
13	26	32

Рис. 61. База данных для применения парного критерия Стьюдента в программе SPSS

На рисунке 61 представлена база данных для применения парного критерия Стьюдента, где демонстрируется количественный признак – показатель агрессивности до лечения (agressivnost1) и после терапии (agressivnost2). Алгоритм выбора критерия – Analyze – Compare Means – Paired-Samples T Test (рис. 62).

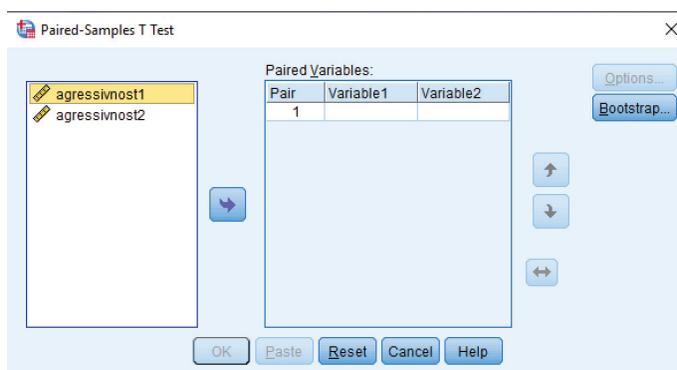


Рис. 62. Окно для выполнения Парного критерия Стьюдента в программе SPSS

Переменные *agressivnost1* и *agressivnost2* с помощью стрелки пе-рекидываем в окошко Paired Variables (рис. 63).

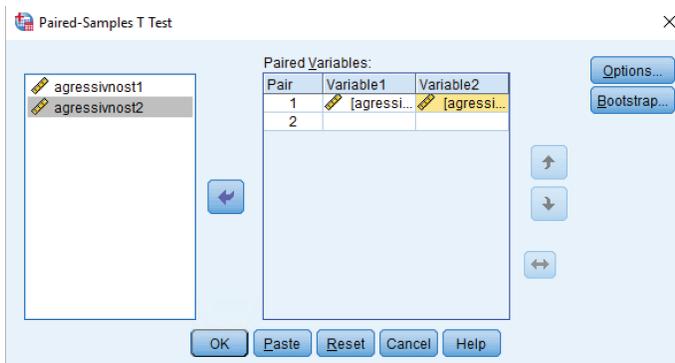


Рис. 63. Применение Парного критерия Стьюдента в программе SPSS

Результат применения парного критерия Стьюдента в программе SPSS представлен на рисунке 64.

Paired Samples Statistics					
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	agressivnost1	18,85	13	3,236	,898
	agressivnost2	22,23	13	5,525	1,532

Paired Samples Correlations				
		N	Correlation	Sig.
Pair 1	agressivnost1 & agressivnost2	13	,874	,000

Paired Samples Test									
		Mean	Std. Deviation	Paired Differences			t	df	Sig. (2-tailed)
				Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper				
Pair 1	agressivnost1 - agressivnost2	-3,385	3,124	,866	-5,272	-1,497	-3,907	12	,002

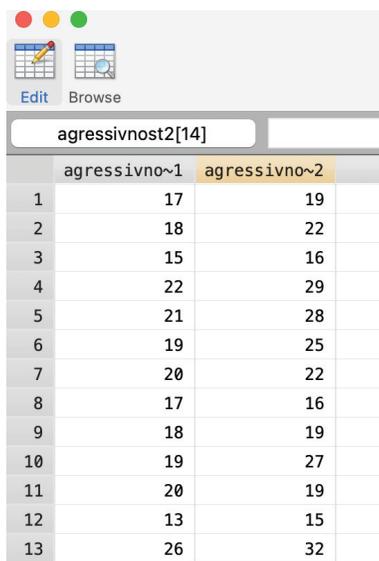
Рис. 64. Результат применения парного критерия в программе SPSS

Первая таблица Paired Samples Statistics демонстрирует описательную статистику для каждой переменной: среднюю арифметическую (Mean), абсолютное число (N), стандартное отклонение (Std.Deviation) и ошибку среднего (Std. Error Mean). Таблица Paired

Samples Correlations показывает результат корреляции Пирсона: абсолютное число (N), коэффициент корреляции (Correlation) и уровень статистической значимости (Sig.). В заключительной таблице Paired Samples Test содержится разница между средними значениями (Mean), стандартное отклонение для разницы (Std.Deviation), ошибка среднего (Std.Error Mean), 95% доверительный интервал для разницы (95% Confidence interval of the difference), эмпирическое значение критерия (t), количество степеней свободы (df) и уровень статистической значимости для двустороннего критерия (Sig.). Из представленной таблицы мы можем сделать вывод, что принимается альтернативная гипотеза, т.к. p-уровень меньше 0,05 ($p=0,002$); более того, в среднем показатель агрессивности повысился на 3,385 балла.

Критерий Стьюдента для зависимых выборок в программе STATA

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы STATA (рис. 65).



	agressivno~1	agressivno~2	agressivnost2[14]
1	17	19	
2	18	22	
3	15	16	
4	22	29	
5	21	28	
6	19	25	
7	20	22	
8	17	16	
9	18	19	
10	19	27	
11	20	19	
12	13	15	
13	26	32	

Рис. 65. База данных для применения парного критерия Стьюдента в программе STATA

На рисунке 65 представлена база данных для применения парного критерия Стьюдента, где демонстрируется количественный признак – показатель агрессивности до лечения (agressivnost1) и после терапии (agressivnost2). Алгоритм выбора критерия – Statistics – Summaries, tables, and tests – t test (mean-comparison test) (рис. 66).

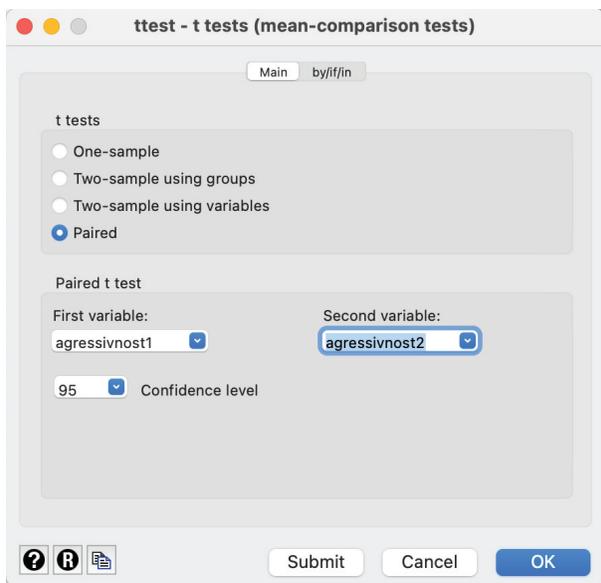


Рис. 66. Применение Парного критерия Стьюдента в программе STATA

В опции t tests необходимо выбрать парный критерий Стьюдента (Paired). В окошке First variable выбираем показатель первого измерения (например, agressivnost1), а в окошке Second variable – показатель второго измерения (например, agressivnost2) и нажимаем ОК. Результат представлен на рисунке 67.

Paired t test

Variable	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
agress~1	13	18.84615	.897619	3.236411	16.89041	20.8019
agress~2	13	22.23077	1.53236	5.525001	18.89204	25.56949
diff	13	-3.384615	.86631	3.123525	-5.272143	-1.497088

mean(diff) = mean(agressivnost1 - agressivnost2) t = -3.9069
 Ho: mean(diff) = 0 degrees of freedom = 12

Ha: mean(diff) < 0 Ha: mean(diff) != 0 Ha: mean(diff) > 0
 Pr(T < t) = 0.0010 Pr(|T| > |t|) = 0.0021 Pr(T > t) = 0.9990

Рис. 67. Результат применения Парного критерия Стьюдента в программе STATA

Представленная таблица позволяет увидеть описательную статистику для каждого измерения (agressivnost1 и agressivnost2): количество наблюдений (Obs), среднюю арифметическую (Mean), ошибку среднего (Std. Err.), стандартное отклонение (Std. Dev.) и 95% доверительный интервал (95% Conf. Interval). Ниже идет описательная статистика для переменной разницы между двумя средними (agressivnost2 – agressivnost1). Под таблицей идет значение Парного критерия Стьюдента (t), количество степеней свободы (degrees of freedom) и значение уровня статистической значимости, как для одностороннего статистического критерия (Ha: mean(diff) < 0 или Ha: mean(diff) > 0), так и для двустороннего (Ha: mean(diff) != 0). Из представленной таблице мы можем сделать вывод, что принимается альтернативная гипотеза, т.к. p-уровень меньше 0,05 (p=0,0021). Более того, в среднем показатель агрессивности повысился на 3,38 балла.

Однофакторный дисперсионный анализ для независимых выборок

или ANOVA – метод для анализа данных в трех и более группах, в которых вариация между группами сравнивается с вариацией внутри групп.

Вариация между группами (систематическая вариация) возникает под влиянием признака-фактора, положенного в основание группировки; вариация внутри групп (несистематическая, случайная вариация) происходит под влиянием неучтенных факторов и не зависит от признака-фактора, положенного в основании группировки.

Дисперсионный анализ классифицирует в зависимости от количества выявляемых регулируемых факторов: однофакторный (изучается влияние одного фактора), двухфакторный (изучается влияние двух факторов) и многофакторный (изучается влияние более двух факторов).

Количество наблюдений в группах может быть, как равным, так и не равным.

Далее мы рассмотрим однофакторный дисперсионный анализ для несвязанных выборок.

Условия применения:

- количественный признак
- нормальное распределение признака в популяции, из которого отобрана выборка
- независимые выборки
- равенство дисперсий изучаемого признака в популяциях, из которых отобраны выборки

Если вариация между группами больше вариации внутри групп, то популяционные средние различаются. Различия выражены сильнее, когда внутригрупповая дисперсия меньше.

Например, у женщин с различным табачным анамнезом изучали показатель депрессивного состояния по методике Бека. Можно ли утверждать, что у курящих женщин показатель депрессивного состояния выше по сравнению с некурящими и отказавшимися от табака год и более?

H_0 : средние значения показателя «депрессивное состояние» у женщин с различным табачным анамнезом не отличаются ($p > 0,05$)

H_1 : средние значения показателя «депрессивное состояние» у женщин с различным табачным анамнезом отличаются ($p \leq 0,05$)

Рассмотрим применение Однофакторного дисперсионного анализа в статистических программах.

Однофакторный дисперсионный анализ для независимых выборок в программе SPSS

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы SPSS (рис. 68).

The screenshot shows the SPSS software interface with a menu bar (File, Edit, View, Data, Transform, Anal) and a toolbar. Below the toolbar, the window title is '24 : depression'. The main area displays a data table with two columns: 'smoking' and 'depression'. The 'smoking' column contains categorical values: 'smoker', 'quitter', and 'non+smoker'. The 'depression' column contains numerical values ranging from 5 to 22. The rows are numbered from 1 to 23.

	smoking	depression
1	smoker	22
2	smoker	18
3	smoker	17
4	smoker	15
5	smoker	35
6	smoker	21
7	smoker	14
8	quitter	15
9	quitter	8
10	quitter	15
11	quitter	13
12	quitter	14
13	quitter	16
14	non+smoker	7
15	non+smoker	12
16	non+smoker	10
17	non+smoker	5
18	non+smoker	9
19	non+smoker	9
20	non+smoker	15
21	non+smoker	11
22	non+smoker	10
23	non+smoker	9

Рис. 68. База данных для применения однофакторного дисперсионного анализа в программе SPSS

На рисунке 68 представлена база данных для применения однофакторного дисперсионного анализа, где демонстрируется количественный признак – показатель депрессивного состояния по методике Бека (depression) и качественный (smoking), разделенный на три группы: курящие (smoker), некурящие (non+smoker) и отказавшиеся от табака год и более (quitter). Алгоритм выбора критерия – Analyze – Compare Means – One-Way ANOVA (рис. 69).

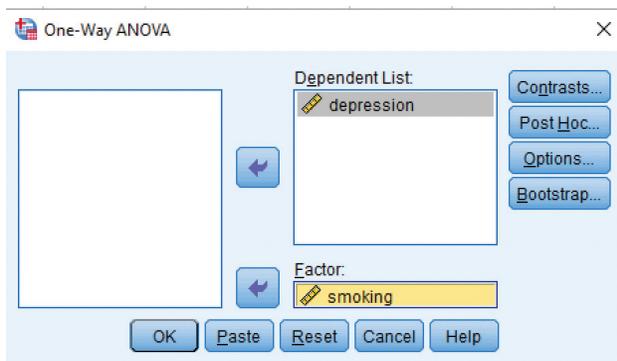


Рис. 69. Применение однофакторного дисперсионного анализа в программе SPSS

Количественную переменную depression с помощью стрелки переводим в окошко Dependent List. Группирующую переменную smoking с помощью нижней стрелки перекидываем в окошко Factor.

Рассмотрим опции справа. Опция Options позволяет нам выполнить описательную статистику, проверить условие равенства дисперсий, а также построить график со средними значениями количественного признака по группам (рис. 70).

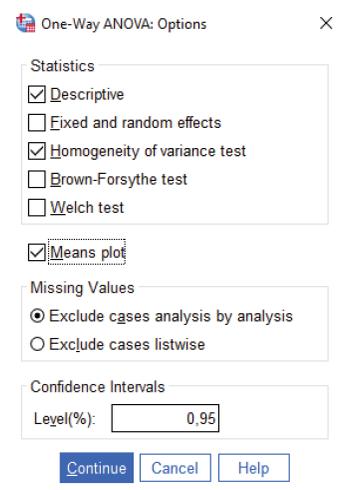


Рис. 70. Применение Options в ANOVA в программе SPSS

Для того, чтобы посчитать описательную статистику, ставим галочку Descriptive; равенство дисперсий – Homogeneity of variance test; построить график – Means plot. Результат вывода представлен на рисунке 71.

Descriptives								
depression								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
smoker	7	20,29	7,111	2,688	13,71	26,86	14	35
quitter	6	13,50	2,881	1,176	10,48	16,52	8	16
non-smoker	10	9,70	2,710	,857	7,76	11,64	5	15
Total	23	13,91	6,302	1,314	11,19	16,64	5	35

Tests of Homogeneity of Variances					
depression					
	Levene Statistic	df1	df2	Sig.	
Based on Mean	2,334	2	20	,123	
Based on Median	1,409	2	20	,268	
Based on Median and with adjusted df	1,409	2	9,718	,290	
Based on trimmed mean	2,171	2	20	,140	

ANOVA					
depression					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	462,798	2	231,399	11,259	,001
Within Groups	411,029	20	20,551		
Total	873,826	22			

Рис. 71. Результат применения однофакторного дисперсионного анализа в программе SPSS

Таблица Descriptives представлена количеством наблюдений (N), средней арифметической (Mean), стандартным отклонением (Std. Deviation), стандартной ошибкой средней арифметической (Std. Error), 95% доверительным интервалом (95% Confidence Interval for Mean), минимальным (Minimum) и максимальным (Maximum) значениями.

Таблица Tests of Homogeneity of Variances демонстрирует выполнение/не выполнение условия равенства дисперсий. В связи с тем, что р-уровень более 0,05 (в данном примере $p=0,123$), делается вывод о выполнении условия равенства дисперсий.

Графическое изображение средних арифметических для каждой из групп представлено на рисунке 72.

Means Plots

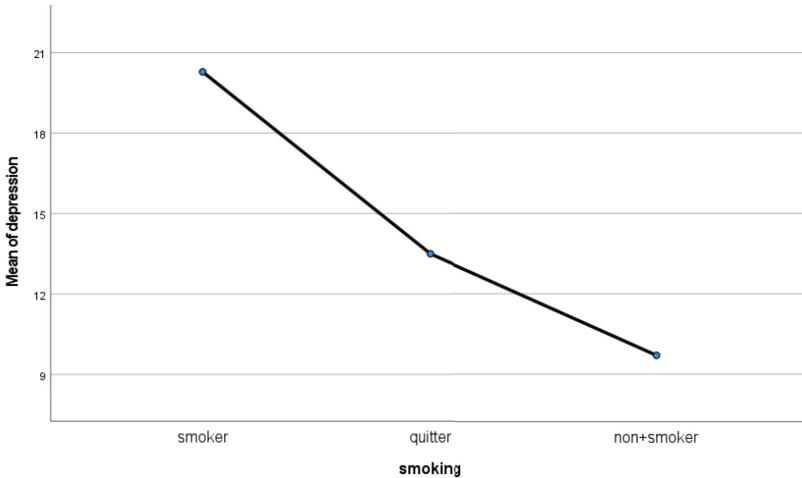


Рис. 72. Графическое изображение средних арифметических для каждой из групп при применении однофакторного дисперсионного анализа в программе SPSS

Таблица ANOVA показывает: в столбце Sum of Squares общую вариабельность признака (Total), внутригрупповую (Within group) и межгрупповую (Between group); в столбце df – количество степеней свободы, которое используется для расчета межгрупповой и внутригрупповой вариабельности. F – это значение статистического критерия (названо в честь Фишера), а Sig. – это уровень статистической значимости. В случае, если уровень статистической значимости меньше 0,05 (в нашем примере $p=0,001$), то нулевая гипотеза отвергается и принимается альтернативная гипотеза. Значит делаем вывод о наличии статистически значимых различий между средними значениями в изучаемых группах. Однако для того, чтобы понять между какими именно группами есть различия, проводятся апостериорные, то есть попарные, сравнения (рис. 73).

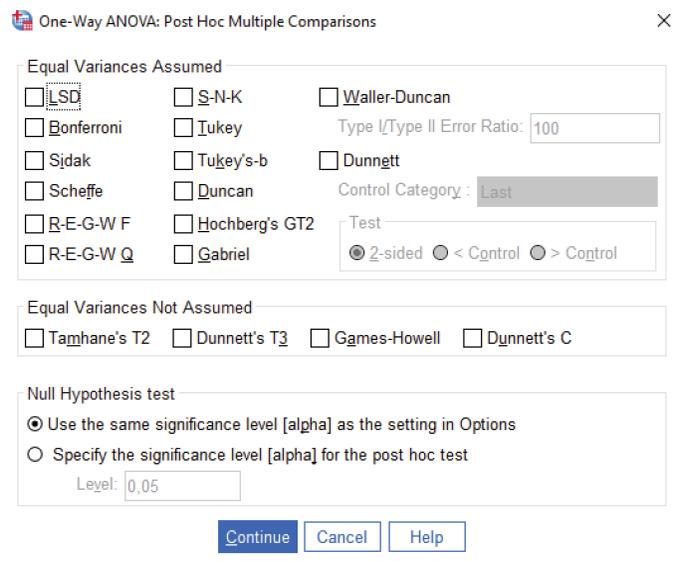


Рис. 73. Апостериорные сравнения при выполнении/не выполнении условия равенства дисперсии в однофакторном дисперсионном анализе в программе SPSS

Equal Variances Assumed – в случае выполнения условия равенства дисперсий. Рассмотрим некоторые из них.

- Критерии LSD (least Significant Difference) и S-N-K (Studentized-Neuman-Keuls) совсем не контролируют ошибку 1 типа или слишком либеральны, поэтому не пригодны для попарного сравнения.

- Bonferroni рекомендуется при небольшом количестве сравнений (до 5); Tukey – при большом.

- Критерии Dunn и Scheffe – похожи на Tukey, однако обладают несколько меньшей статистической мощностью.

- REGWQ (аббревиатура по именам авторов – Ryan, Einot, Gabriel, Welsh Q-критерий) – применим при большом количестве групп, однако объем групп должен быть практически равный.

- Cabriel – применяется при сравнении относительно одинаковых по численности групп.

- Hochberg's GT-2 – используется, когда объем групп различается существенно.

Результат представлен на рисунке 74.

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: depression

	(I) smoking	(J) smoking	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Bonferroni	smoker	quitter	6,786*	2,522	,042	,20	13,38
		non+smoker	10,586*	2,234	,000	4,75	16,42
	quitter	smoker	-6,786*	2,522	,042	-13,38	-,20
		non+smoker	3,800	2,341	,361	-2,32	9,92
	non+smoker	smoker	-10,586*	2,234	,000	-16,42	-4,75
		quitter	-3,800	2,341	,361	-9,92	2,32
Gabriel	smoker	quitter	6,786*	2,522	,041	,25	13,32
		non+smoker	10,586*	2,234	,000	4,81	16,36
	quitter	smoker	-6,786*	2,522	,041	-13,32	-,25
		non+smoker	3,800	2,341	,304	-2,22	9,82
	non+smoker	smoker	-10,586*	2,234	,000	-16,36	-4,81
		quitter	-3,800	2,341	,304	-9,82	2,22

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Рис. 74. Результат апостериорного сравнение в случае выполнения условия равенство дисперсий в программе SPSS

На рисунке 74 представлено апостериорное сравнение в случае выполнения условия равенства дисперсий с помощью двух критериев Bonferroni и Gabriel. В представленной таблице можно найти разницу среднего значения между группами (Mean Difference), ошибку среднего (Std. Error), p-уровень (Sig.) и 95% доверительный интервал для разницы (95% Confidence Interval). Согласно критерия Bonferroni статистически значимые различия есть по показателю депрессии между группами «курящие-отказавшиеся от табака» ($p=0,042$) и «курящие-некурящие» ($p<0,001$). Между отказавшимися от курения и некурящими статистически значимых различий по данному показателю выявлено не было ($p=0,361$).

В случае, когда равенство дисперсий не выполняется, то выводы о различиях между средними следует делать только по результатам применения критерия Brown-Forsythe или Welch test (рис. 70. Применение Options в ANOVA в программе SPSS). Апостериорные сравнения в этом случае рекомендуется осуществлять с помощью

критерия Games-Howell; а, если необходимо провести сравнения нескольких групп с контрольной, то Dunnett's test.

Помимо апостериорных сравнений в программе SPSS можно провести анализ трендов. Под трендом понимают закономерную, неслучайную составляющую временного ряда (обычно монотонную, то есть либо возрастающую, либо убывающую). Тренд выполняется тогда, когда группы можно расположить в логической последовательности, то есть, когда группирующая переменная порядковая. Например, в трех возрастных группах (18-25 лет, 26-34 года, 35-49 лет) сравнивался показатель «субъективное ощущение здоровья»; или как в выше представленном примере показатель депрессии в зависимости от табачного анамнеза. Для оценки тренда необходимо зайти во вкладку Contrasts и отметить Polynomial (рис. 75).

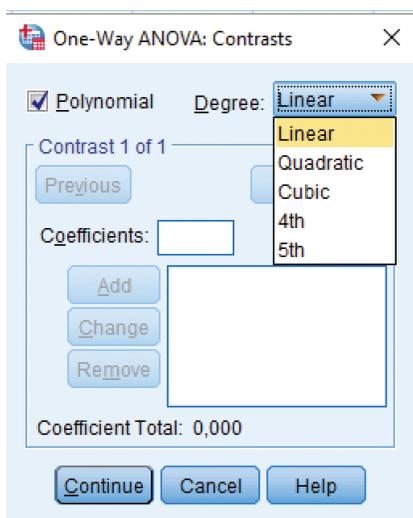


Рис. 75. Окно для выполнения Contrasts в ANOVA в программе SPSS

Далее необходимо выбрать линейный тренд (Linear) или полином второго (Quadratic), третьего (Cubic), четвертого (4th) или пятого (5th) порядка. Линейный тренд применяется для описания тенденций роста или падения; полином – для описания значений временных

рядов, попеременно возрастающих и убывающих. Рассмотрим наш пример с показателем депрессии у беременных женщин с различным табачным анамнезом (рис. 76).

ANOVA

depression

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Between Groups	(Combined)	462,798	2	231,399	11,259	,001	
	Linear Term	Unweighted	461,413	1	461,413	22,452	,000
		Weighted	452,996	1	452,996	22,042	,000
		Deviation	9,801	1	9,801	,477	,498
Within Groups		411,029	20	20,551			
Total		873,826	22				

Рис. 76. Результат применения Contrasts в ANOVA в программе SPSS

Уровень статистической значимости (Sig.) меньше 0,05 ($p < 0,001$), что позволяет отвергнуть нулевую гипотезу и сделать вывод о наличии линейного тренда.

Однофакторный дисперсионный анализ для независимых выборок в программе STATA

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы STATA (рис. 77).

Data Editor (Edit) - [Untitled]

File Edit View Data Tools

depression[24]

	smoking	depression
1	smoker	22
2	smoker	18
3	smoker	17
4	smoker	15
5	smoker	35
6	smoker	21
7	smoker	14
8	quitter	15
9	quitter	8
10	quitter	15
11	quitter	13
12	quitter	14
13	quitter	16
14	non+smoker	7
15	non+smoker	12
16	non+smoker	10
17	non+smoker	5
18	non+smoker	9
19	non+smoker	9
20	non+smoker	15
21	non+smoker	11
22	non+smoker	10
23	non+smoker	9

Рис. 77. База данных для применения однофакторного дисперсионного анализа в программе STATA

На рисунке 77 представлена база данных для применения однофакторного дисперсионного анализа, где демонстрируется количественный признак – показатель депрессивного состояния по методике Бека (depression) и качественный (smoking), разделенный на три группы: курящие (smoker), некурящие (non+smoker) и отказавшиеся от табака год и более (quitter).

Если в программе SPSS можно проверить равенство диспер-

сий непосредственно при расчете однофакторного дисперсионного анализа, то программа STATA считает ANOVA исключительно при выполненном условии равенства дисперсий. Поэтому прежде, чем применить данный критерий, необходимо проверить это условие. Для этого в меню Statistics выбираем Summaries, tables, and tests – Classical tests of hypothesis – Robust equal variance test (рис. 78).

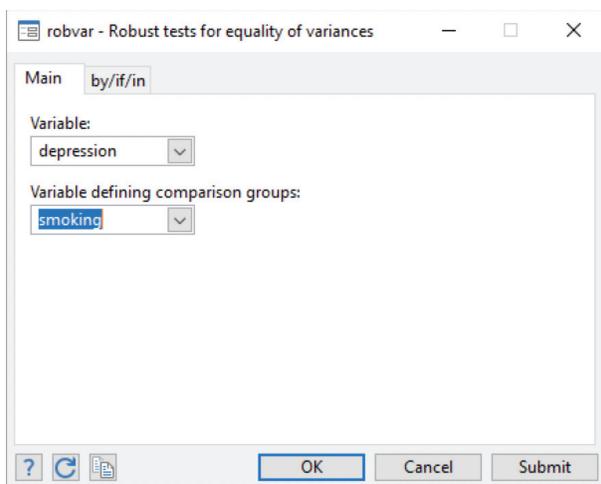


Рис. 78. Проверка условия равенства дисперсий перед проведением однофакторного дисперсионного анализа в программе STATA

В окошко Variable выбираем количественный признак depression, в окошко Variable defining comparison groups – качественный признак smoking и нажимаем ОК. Результат представлен на рисунке 79.

```

. robvar depression, by(smoking)

```

smoking	Summary of depression		
	Mean	Std. Dev.	Freq.
1	20.285714	7.1113591	7
2	13.5	2.8809721	6
3	9.7	2.7100635	10
Total	13.913043	6.3023303	23

```

W0 = 2.3342219 df(2, 20) Pr > F = 0.1227107
W50 = 1.4087207 df(2, 20) Pr > F = 0.267689
W10 = 2.3335047 df(2, 20) Pr > F = 0.12278208

```

Рис. 79. Результат проверки условия равенства дисперсий перед проведением однофакторного дисперсионного анализа в программе STATA

В связи с тем, что p -уровень больше 0,05, то принимаем нулевую гипотезу и делаем вывод о том, что условие равенства дисперсий выполняется.

Алгоритм выбора критерия – Statistics – Linear models and related ANOVA/MANOVA – One-Way ANOVA (рис. 80А).

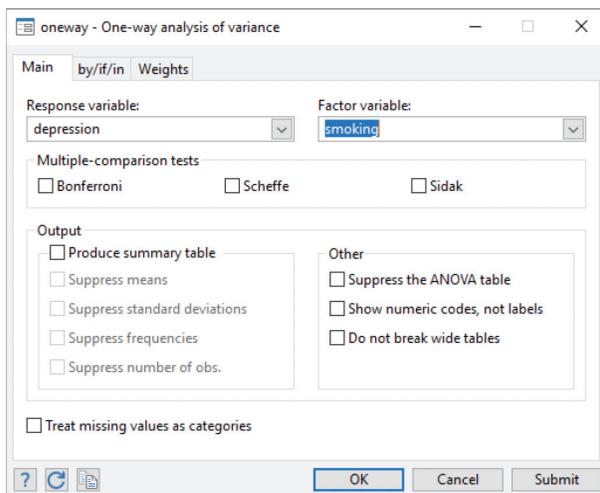


Рис. 80А. Окно для выполнения однофакторного дисперсионного анализа в программе STATA

Количественную переменную depression выбираем в окошке Response variable, группирующую переменную smoking – Factor variable. Результат представлен на рисунке 80Б.

```
. oneway depression smoking
```

Source	Analysis of Variance			F	Prob > F
	SS	df	MS		
Between groups	462.797516	2	231.398758	11.26	0.0005
Within groups	411.028571	20	20.5514286		
Total	873.826087	22	39.7193676		

```
Bartlett's test for equal variances: chi2(2) = 7.8330 Prob>chi2 = 0.020
```

Рис. 80Б. Результат применения однофакторного дисперсионного анализа в программе STATA

Prob > F – это уровень статистической значимости и так как он меньше 0,05, то делаем вывод о наличии статистически значимых различиях по показателю депрессия между группами. Но мы не можем сказать, между какими группами есть эти различия. С этой целью проведем апостериорные сравнения, выбрав в окошке Multiple-comparison test критерий Bonferroni (рис. 81).

Comparison of depression by smoking (Bonferroni)		
Row Mean- Col Mean	smoker	quitter
quitter	-6.78571 0.042	
non+smok	-10.5857 0.000	-3.8 0.361

Рис. 81. Результат апостериорного сравнение в случае выполнения условия равенство дисперсий в программе STATA

На рисунке 81 мы видим значение критерия (первая цифра) и уровень статистической значимости (вторая цифра). Таким образом, мы можем сказать, что статистически значимые различия по показателю депрессия есть между группами «курящие-отказавшиеся» при $p=0,042$ и «курящие-некурящие» при $p<0,001$.

Однофакторный дисперсионный анализ в программе STATA не позволяет делать расчет критерия, когда условие равенства дисперсий не выполняется. В этом случае либо необходимо трансформировать количественную переменную (см. статью Гржибовский А.М. Типы данных, проверка распределения и описательная статистика. Экология человека, 2008. – №1. С. 52-58), либо применить непараметрический аналог – критерий Краскела-Уоллиса.

Однофакторный дисперсионный анализ для повторных наблюдений

Метод дисперсионного анализа для связанных выборок (или Repeated measures ANOVA) применяется в тех случаях, когда исследуется влияние разных градаций фактора или разных условий на одну и ту же выборку респондентов.

Условия:

- количественный признак
- три и более связанных выборки
- нормальное распределение результативного признака
- условие сферичности (означает, что дисперсии разностей между всеми возможными условиями пар значений приблизительно равны).

Например, изучали показатель агрессивности по методике Басса-Дарки у мужчин до лечения никотиновой зависимости, во время и через год после лечения. Можно ли утверждать, что показатель агрессивности будет меняться с течением времени?

H_0 : средние значения показателя «агрессивность» у мужчин с течением времени не отличаются ($p > 0,05$).

H_1 : средние значения показателя «агрессивность» у мужчин с течением времени отличаются ($p \leq 0,05$).

Рассмотрим применение Однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в статистических программах.

Однофакторный дисперсионный анализ для повторных наблюдений в программе SPSS

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы SPSS (рис. 82А).

*Untitled1 [DataSet0] - IBM SPSS Statistics Data Editor

File Edit View Data Transform Analyze Graphs Utilities Ext

15 : agresivnost3

	agresivnost1	agresivnost2	agresivnost3
1	30	55	27
2	20	63	20
3	21	72	30
4	15	50	18
5	35	48	20
6	28	35	36
7	27	45	30
8	20	42	20
9	19	25	23
10	20	45	28
11	21	78	19
12	16	50	20
13	17	43	40
14	18	19	20

Рис. 82А. База данных для применения однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе SPSS

На рисунке 82А представлена база данных для применения однофакторного дисперсионного анализа повторных измерений, где демонстрируется показатель агрессивности до лечения (agresivnost1), во время (agresivnost2) и через год после лечения (agresivnost3).

Прежде, чем выполнять данный критерий, необходимо проверить количественный признак на нормальность распределения (см. раздел 1.1).

Сферичность проверяется непосредственно при выполнении данного критерия в программе.

Алгоритм выбора критерия: Analyze – General Linear Model – Repeated Measures Открывается соответствующее диалоговое окно (рис. 82Б).

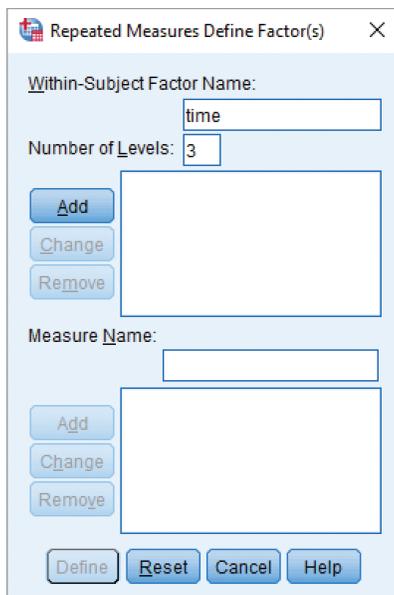


Рис. 82Б. Окно для выполнения однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе SPSS

В окошке Within-Subject Factor Name дается название переменной, например, у нас три временных периода, поэтому назовем time. В окошке Number of Levels поставим количество измерений, например, три. Нажимаем Add – Define.

С помощью стрелки необходимо перекинуть переменные *agressivnost1*, *agressivnost2*, *agressivnost3* в окошко Within-Subjects Variables (рис. 83).

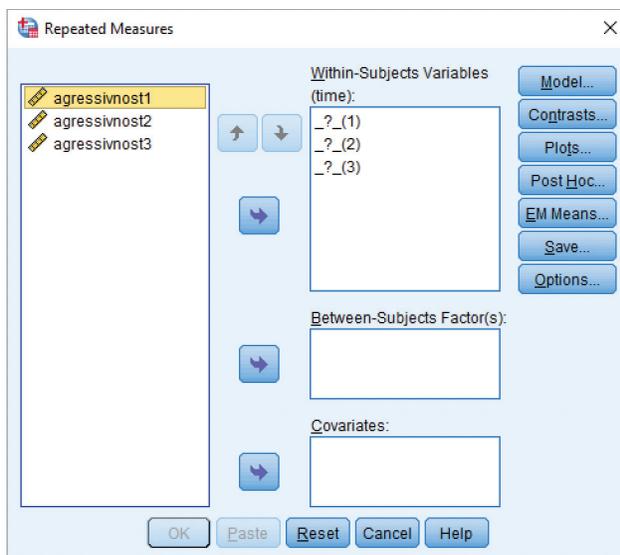


Рис. 83. Пример применения однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе SPSS

Далее заходим во вкладку Contrasts (рис. 84).

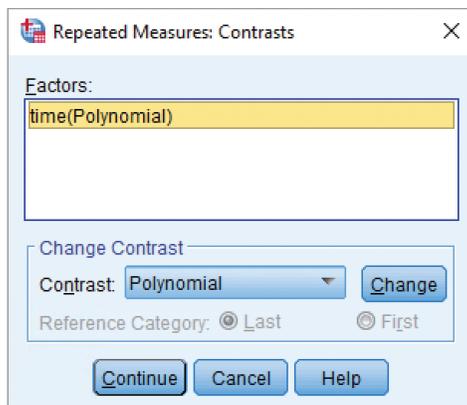


Рис. 84. Диалоговое окно Contrasts при применении однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе SPSS

По умолчанию установлено Polynomial. Это позволяет оценить тренд. При желании можно изменить тип плановых сравнений путем нажатия на стрелочку в Contrast. Так, при выборе Deviation каждая из групп будет сравниваться со средним значением всех наблюдений; Simple – каждая из групп будет сравниваться либо с первой (First), либо с последней (Last) группой; Repeated – каждая последующая группа будет сравниваться с предыдущей; Helmert – каждая группа сравнивается со средним значением оставшихся групп.

Во вкладке EM Means можно выбрать апостериорные критерии для попарного сравнения (рис. 85).

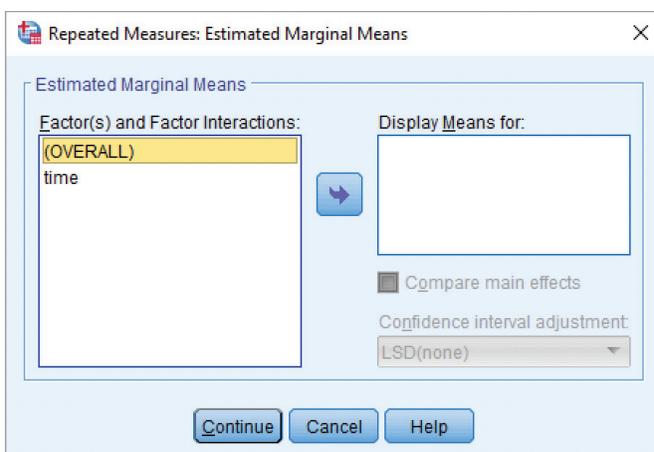


Рис. 85. Диалоговое окно EA Means при применении однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе SPSS

С помощью стрелки фактор time перекидываем в окошко Display Means for. Ставим галочку Compare main effects и выбираем апостериорный критерий, например Bonferroni (рис. 86).

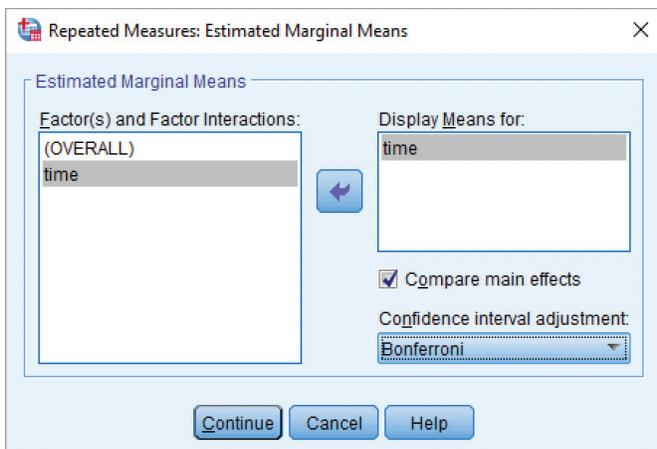


Рис. 86. Пример использования диалогового окна EA Means при применении однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе SPSS

Во вкладке Options (рис. 87) выбираем расчет описательной статистики (Descriptive statistics).

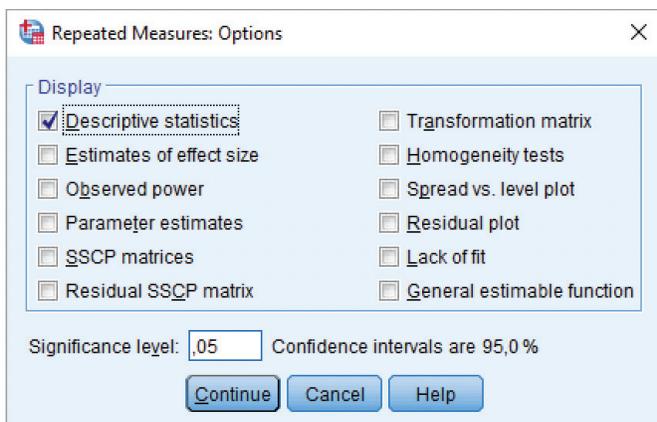


Рис. 87. Диалоговое окно Options при применении однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе SPSS

Таблица Descriptive Statistics демонстрирует описательную статистику (Mean – средняя арифметическая, Std. Deviation – стандартное отклонение и N – количество наблюдений) для переменной агрессивность в трех измерениях (рис. 88).

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
agressivnost1	21,93	5,837	14
agressivnost2	47,86	16,114	14
agressivnost3	25,07	6,922	14

Рис. 88. Результат описательной статистики в ходе выполнения однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе SPSS

Из таблицы рисунка 88 видно, что средние значения показателя агрессивность меняются в зависимости от периода измерения, причем наибольшее значение отмечается во втором измерении, то есть во время лечения никотиновой зависимости. Однако эти показатели не позволяют говорить о наличии статистически значимых различий.

Таблица Mauchly's Test of Sphericity показывает результат проверки условия сферичности (рис. 89).

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: MEASURE_1

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
time	,495	8,449	2	,015	,664	,711	,500

Tests the null hypothesis that the error covariance matrix of the orthonormalized transformed dependent variables is proportional to an identity matrix.

a. Design: Intercept

Within Subjects Design: time

b. May be used to adjust the degrees of freedom for the averaged tests of significance. Corrected tests are displayed in the Tests of Within-Subjects Effects table.

Рис. 89. Результат проверки условия сферичности в ходе выполнения однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе SPSS

Из таблицы рисунка 89 по уровню статистической значимости (Sig.) делается вывод о том, что условие сферичности не выполняется (p меньше 0,05). В этом случае в программе предусмотрены способы коррекции для ситуации отклонения от сферичности. Для оценки сферичности используется значение Epsilon, которое может принимать значение до 1,0. Как видно из таблицы данное значение равно 0,664. Далее посмотрим основные результаты анализа и как осуществляется коррекция при условии несоблюдения сферичности (рис. 90).

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: MEASURE_1

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
time	Sphericity Assumed	5606,333	2	2803,167	24,625	,000
	Greenhouse-Geisser	5606,333	1,329	4220,041	24,625	,000
	Huynh-Feldt	5606,333	1,422	3942,056	24,625	,000
	Lower-bound	5606,333	1,000	5606,333	24,625	,000
Error(time)	Sphericity Assumed	2959,667	26	113,833		
	Greenhouse-Geisser	2959,667	17,271	171,371		
	Huynh-Feldt	2959,667	18,488	160,082		
	Lower-bound	2959,667	13,000	227,667		

Рис. 90. Результат однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе SPSS

Sphericity Assumed используется в случае, когда условие сферичности выполняется. В противном случае, как получилось в нашем примере, условие сферичности не выполняется, значит обращаемся к другим параметрам. Выбор Greenhouse-Geisser или Huynh-Feldt зависит от значения Epsilon. Рекомендуется при значении Epsilon $< 0,75$ применять коррекцию по Greenhouse-Geisser, а при значении Epsilon $> 0,75$ – коррекцию по Huynh-Feldt. В нашем примере значение Epsilon $< 0,75$, значит делаем вывод о том, что по результатам однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений с поправкой Greenhouse-Geisser наблюдаются статистически значимые различия по показателю агрессивность у мужчин до лечения никотиновой зависимости, во время и через год после лечения.

Наличие статистически значимых различий позволяет нам обратиться к следующему анализу – анализу контрастов (рис. 91).

Tests of Within-Subjects Contrasts

Measure: MEASURE_1

Source	time	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
time	Linear	69,143	1	69,143	2,016	,179
	Quadratic	5537,190	1	5537,190	28,635	,000
Error(time)	Linear	445,857	13	34,297		
	Quadratic	2513,810	13	193,370		

Рис. 91. Результат применения анализа контрастов в ходе выполнения однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе SPSS

Таблица Tests of Within-Subjects Contrasts (рис. 91) позволяет оценить наличие трендов – линейного (Linear) или квадратичного (Quadratic). Под трендом понимают закономерную, неслучайную составляющую временного ряда (обычно монотонную, то есть либо возрастающую, либо убывающую). В нашем примере мы наблюдаем квадратичный тренд, так как p уровень (Sig.) меньше 0,05 ($p < 0,001$).

Апостериорное сравнение представлено на рисунке 92.

Pairwise Comparisons

Measure: MEASURE_1

(I) time	(J) time	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-25,929*	4,483	,000	-38,237	-13,620
	3	-3,143	2,213	,538	-9,221	2,935
2	1	25,929*	4,483	,000	13,620	38,237
	3	22,786*	4,878	,001	9,392	36,180
3	1	3,143	2,213	,538	-2,935	9,221
	2	-22,786*	4,878	,001	-36,180	-9,392

Based on estimated marginal means

*. The mean difference is significant at the ,05 level.

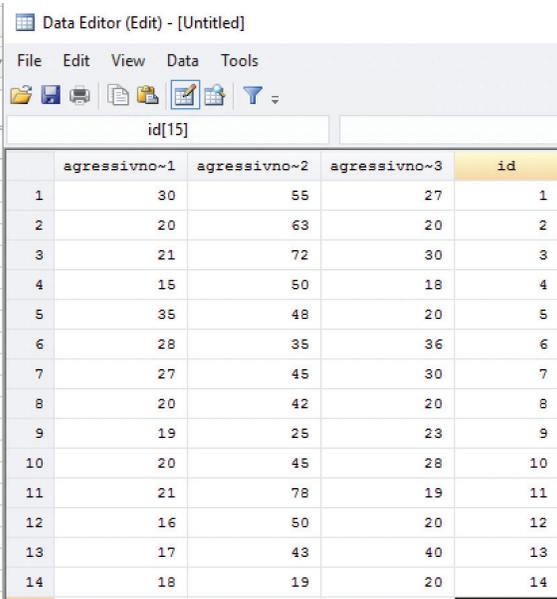
b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

Рис. 92. Результат применения апостериорного сравнения в ходе выполнения однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе SPSS

Таблица Pairwise Comparisons демонстрирует попарное сравнение с помощью критерия Bonferroni. Статистически значимые различия наблюдаются между первым – вторым измерением ($p < 0,001$), а также вторым – третьим ($p = 0,001$).

Однофакторный дисперсионный анализ для повторных наблюдений в программе STATA

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы STATA (рис. 93).



The screenshot shows the STATA Data Editor interface. The title bar reads "Data Editor (Edit) - [Untitled]". The menu bar includes "File", "Edit", "View", "Data", and "Tools". Below the menu is a toolbar with icons for file operations and data manipulation. The main window displays a dataset with the following data:

	agressivno~1	agressivno~2	agressivno~3	id
1	30	55	27	1
2	20	63	20	2
3	21	72	30	3
4	15	50	18	4
5	35	48	20	5
6	28	35	36	6
7	27	45	30	7
8	20	42	20	8
9	19	25	23	9
10	20	45	28	10
11	21	78	19	11
12	16	50	20	12
13	17	43	40	13
14	18	19	20	14

Рис. 93. База данных для применения однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе STATA

На рисунке 93 представлена база данных для применения однофакторного дисперсионного анализа повторных измерений, где демонстрируется показатель агрессивности до лечения (*agressivnost1*), во время (*agressivnost2*) и через год после лечения (*agressivnost3*). Кроме того, необходимо создать еще одну переменную – порядковый номер участника исследования (*id*). Для того, чтобы выполнить

Data Editor (Edit) - [Untitled]

File Edit View Data Tools

id[1] 1

	id	time	agressivnost
1	1	1	30
2	1	2	55
3	1	3	27
4	2	1	20
5	2	2	63
6	2	3	20
7	3	1	21
8	3	2	72
9	3	3	30
10	4	1	15
11	4	2	50
12	4	3	18
13	5	1	35
14	5	2	48
15	5	3	20
16	6	1	28
17	6	2	35
18	6	3	36
19	7	1	27
20	7	2	45
21	7	3	30
22	8	1	20
23	8	2	42
24	8	3	20
25	9	1	19
26	9	2	25
27	9	3	23

Рис. 95. Результат изменения формата данных с горизонтального (wide) на вертикальный (long) в программе STATA

Для возврата данных в горизонтальный формат необходимо ввести команду в строке Command – reshape wide VAR, i(id) j(time).

Изменения формата данных отражаются во вкладке с результатами (рис. 96).

```
. reshape long agressivnost, i(id) j(time)
(note: j = 1 2 3)

Data                                wide  ->  long
-----
Number of obs.                       14  ->   42
Number of variables                    4  ->   3
j variable (3 values)                 ->  time
xij variables:
agressivnost1 agressivnost2 agressivnost3 ->  agressivnost
```

Рис. 96. Отчет об изменении формата данных с горизонтального (wide) на вертикальный (long) в программе STATA

Алгоритм выполнения однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе STATA: Statistics – Linear models and related – ANOVA/MANOVA – Analysis of variance and covariance (рис. 97).

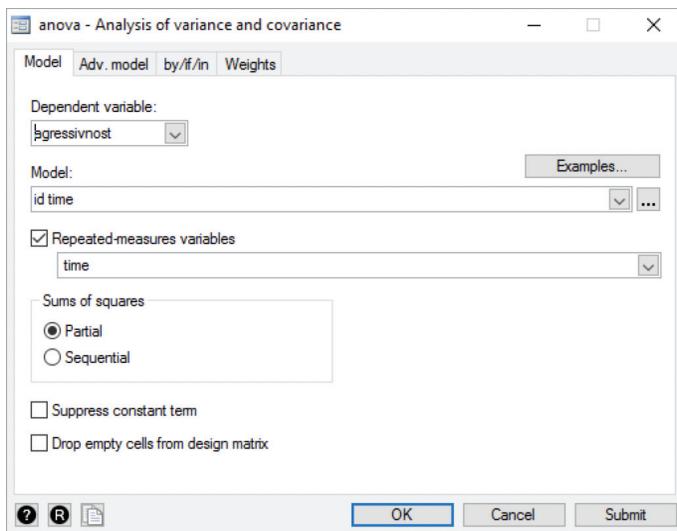


Рис. 97. Окно для выполнения однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе STATA

В окошке Dependent variable выбираем переменную *agressivnost*, в Model прописываем *id time*, в Repeated-measures variables выбираем *time*. Все остальное, необходимое для выполнения критерия стои- по умолчанию. Нажимаем ОК (рис. 98).

Number of obs =		42	R-squared =	0.7054	
Root MSE =		10.6693	Adj R-squared =	0.5355	
Source	Partial SS	df	MS	F	Prob>F
Model	7088.2381	15	472.54921	4.15	0.0007
id	1481.9048	13	113.99267	1.00	0.4774
time	5606.3333	2	2803.1667	24.63	0.0000
Residual	2959.6667	26	113.83333		
Total	10047.905	41	245.07085		

Рис. 98. Результат применения однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе STATA

Из таблицы рисунка 98 нас интересует значение *p*-уровня (Prob>F в строке *time*). Уровень статистической значимости меньше 0,05 ($p < 0,001$), что позволяет принять альтернативную гипотезу о наличии статистически значимых различий между группами. Однако этот показатель верен в случае выполнения условия сферичности. О сферичности свидетельствует Epsilon (рис. 99).

Repeated variable: time						
		Huynh-Feldt epsilon =	0.7111			
		Greenhouse-Geisser epsilon =	0.6643			
		Box's conservative epsilon =	0.5000			
Source	df	F	Prob > F			
			Regular	H-F	G-G	Box
time	2	24.63	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003
Residual	26					

Рис. 99. Результат применения однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в случае не соблюдения условия сферичности в программе STATA

Если Greenhouse-Geisser Epsilon ближе к 0,5, то условие сферичности нарушено; если приближается к 1, то выполняется. При значении Epsilon <0,75 рекомендуется применять коррекцию по Greenhouse-Geisser (G-G), а при >0,75 – результат дисперсионного анализа смотрим в столбце H-F (коррекция Huynh-Feidt). В нашем примере Greenhouse-Geisser Epsilon ближе к 0,5 (0,6643), соответственно, делается вывод о том, что условие сферичности нарушено. Данное значение меньше 0,75, поэтому р-уровень смотрим в графе Prob>F с поправкой G-G. В данном примере оно совпало и составило $p < 0,001$.

Апостериорное сравнение целесообразно делать тогда, когда есть статистически значимые различия (как в вышеуказанном примере). Для этого необходимо выполнить следующий алгоритм входа: Statistics – Linear models and related – ANOVA/MANOVA – Test linear hypotheses after anova (рис. 100).

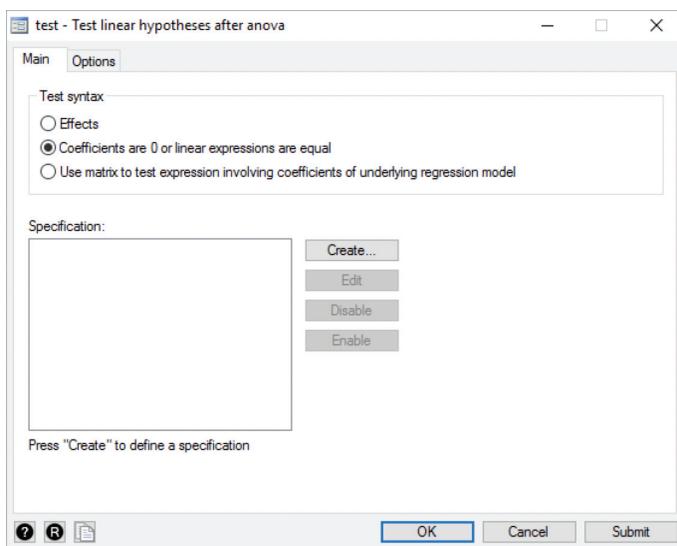


Рис. 100. Окно для апостериорного сравнения при выполнении однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе STATA

Для начала необходимо нажать Coefficients are 0 or linear expressions are equal. Далее создаем попарные сравнения – заходим во вкладку Create... (рис. 101).

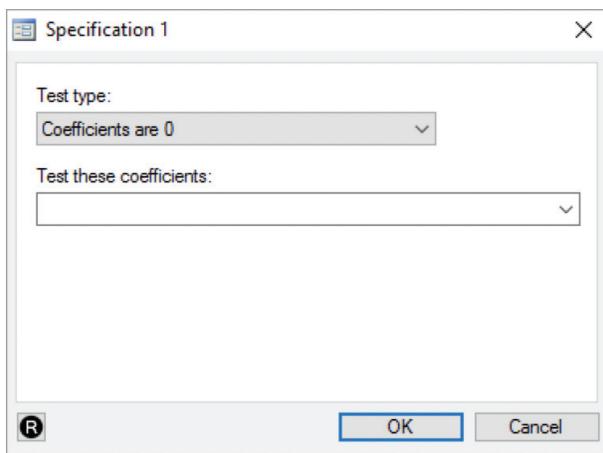


Рис. 101. Диалоговое окно во вкладке Create ... при выполнении однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе STATA

Открываем с помощью стрелки окошко Test these coefficients (рис. 102).

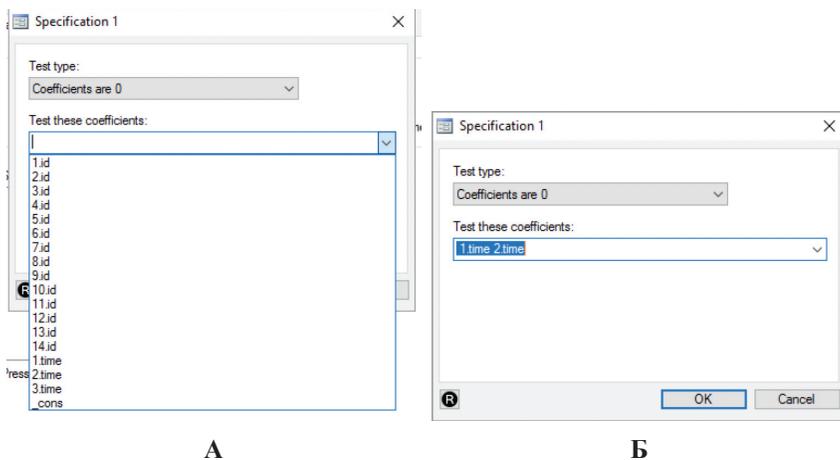


Рис. 102. Пример использования Create ... при выполнении однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе STATA

Необходимо создать первое попарное сравнение, выбрав 1.time и 2.time (рис. 102Б). Далее 1.time и 3.time; 2.time и 3.time. Нажать ОК (рис. 103).

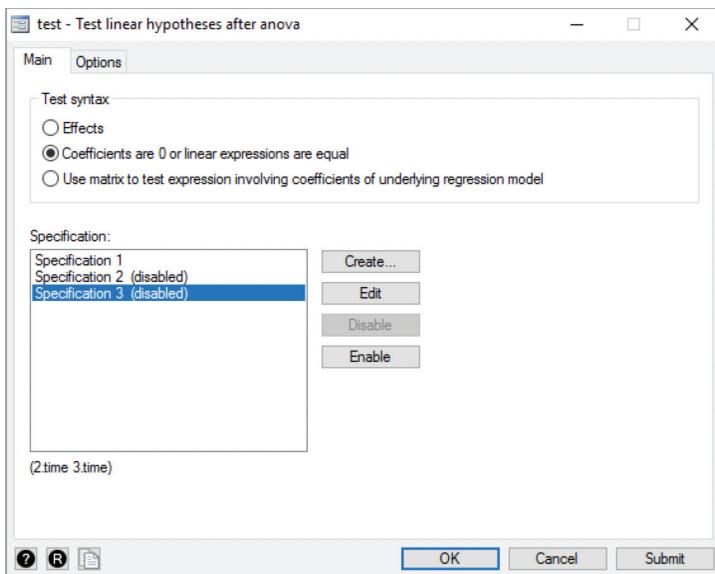


Рис. 103. Пример апостериорного сравнения при выполнении однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе STATA

Создав три попарных сравнения (Specification 1, Specification 2, Specification 3), необходимо зайти во вкладку Options (рис. 104).

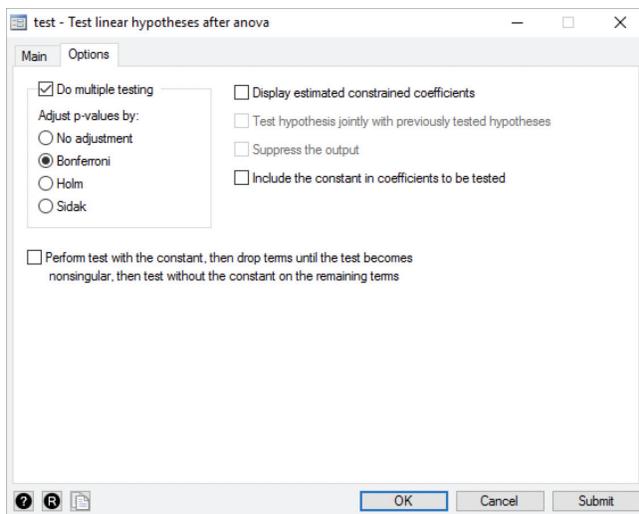


Рис. 104. Диалоговое окно Options при выполнении однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе STATA

Необходимо выбрать тест для попарного сравнения. Ранее мы говорили о том, что поправка Bonferroni наиболее рекомендуемая.

Затем поочередно выполняется апостериорное сравнение. Для этого необходимо оставить одну пару сравнения (например, Specification1), а другим присвоить статус Disable (рис. 105). Затем статус меняется: Disable на Enable.

```
. test (2.time 1.time), mtest(bonferroni)

( 1) 2.time = 0
( 2) 1b.time = 0
      Constraint 2 dropped
```

	F(df,26)	df	p
(1)	41.34	1	0.0000 #
(2)	.	1	. #
all	41.34	1	0.0000

Bonferroni-adjusted p-values

А – 1 и 2 измерения

```
. test (2.time 3.time), mtest(bonferroni)

( 1) 2.time = 0
( 2) 3.time = 0
```

	F(df,26)	df	p
(1)	41.34	1	0.0000 #
(2)	0.61	1	0.8856 #
all	24.63	2	0.0000

Bonferroni-adjusted p-values

Б – 2 и 3 измерения

```
. test (1.time 3.time), mtest(bonferroni)

( 1) 1b.time = 0
( 2) 3.time = 0
      Constraint 1 dropped
```

	F(df, 26)	df	p
(1)	.	1	. #
(2)	0.61	1	0.4428 #
all	0.61	1	0.4428

В – 1 и 3 измерения

Рис. 105. Результат апостериорного сравнения при выполнении однофакторного дисперсионного анализа повторных наблюдений в программе STATA

В таблицах рисунка 105 представлены результаты сравнения показателя агрессивность у мужчин до, во время лечения и через год после лечения. Уровень статистической значимости указывает, что только между 1 и 2 измерением, а также между 2 и 3 измерением есть статистически значимые различия по показателю агрессивность.

2.3. Непараметрические методы

Непараметрические методы – это методы, свободные от распределения. Здесь не используются параметры совокупности, а применяют ранжирование. При нормальном распределении генеральной совокупности параметрические критерии обладают большей мощностью по сравнению с непараметрическими. Они способны с большей достоверностью отвергнуть нулевую гипотезу. По этой причине в тех случаях, когда выборки взяты из нормально распределенных генеральных совокупностей следует отдавать предпочтение параметрическим критериям.

Непараметрические методы применяются в случае количественных переменных, не подчиняющихся закону нормального распределения, либо в случае качественных порядковых признаков (порядков должно быть не менее пяти). Выбор критерия зависит также от двух условий: количество выборов и зависимая/независимая выборка (табл. 4).

Обзор непараметрических критериев

Количество выборок/групп	Зависимая/независимая выборка	Название параметрического критерия
1	Эталонная величина	Одновыборочный критерий Вилкоксона
2	Н	Критерий Манна-Уитни или двувывборочный критерий Вилкоксона
2	З	Одновыборочный критерий Вилкоксона
3 и более	Н	Критерий Краскела-Уоллиса
3 и более	З	Критерий Фридмана

Под зависимой выборкой подразумевается одна и та же группа людей, которая сравнивается по одному и тому же показателю в динамике; например, мальчики 5 класса сравниваются по показателю физическая агрессия на начало учебного года, в середине и в конце учебного года.

Под независимой выборкой подразумевается две и более групп, которые сравниваются по одному и тому же показателю; например, группа мальчиков и группа девочек 5 класса сравниваются по показателю «физическая агрессия».

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Можно ли применять непараметрические методы, если количественный признак распределен нормально?
2. Как представляется количественный признак, когда используется непараметрический критерий?
3. Какой критерий применяется, когда выборочную среднюю необходимо сравнить с эталонной величиной?

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Изучался показатель «активность» у студентов психологов заочной формы обучения перед сессией и после. Признак имеет ненормальное распределение. Какой непараметрический критерий здесь подходит?

2. Сравнивался показатель Синдрома эмоционального выгорания у педагогов с разным стажем работы (1-3 года и 5-7 лет). Признак распределен ненормально в группе педагогов со стажем работы 1-3 года. Какой критерий здесь подходит?

2.3.1. Непараметрические методы с применением статистических программ SPSS и STATA

Критерий Манна-Уитни

или двухвыборочный критерий Вилкоксона является аналогом параметрического двухвыборочного критерия Стьюдента.

Условия применения:

- количественный признак, не подчиняющийся закону нормального распределения, либо качественный порядковый признак
- две несвязанные выборки

Например, изучали количество абортос среди курящих и некурящих женщин. Можно ли утверждать, что среди курящих количество абортос больше, чем среди некурящих?

H_0 : количество абортос среди курящих не отличается от количества абортос среди некурящих ($p > 0,05$).

H_1 : количество абортос среди курящих отличается от количества абортос среди некурящих ($p \leq 0,05$).

Рассмотрим применение критерия Манна-Уитни в статистических программах.

Критерий Манна-Уитни в программе SPSS

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы SPSS (рис. 106).

The screenshot shows the IBM SPSS Statistics Data Editor window titled '*Untitled1 [DataSet0] - IBM SPSS Statistics Data Edit'. The menu bar includes File, Edit, View, Data, Transform, and Analyze. Below the menu bar is a toolbar with icons for file operations and data manipulation. The main area displays a data grid with the following content:

	smoking	N_abortion
1	non-smoker	1
2	non-smoker	3
3	non-smoker	0
4	non-smoker	0
5	non-smoker	0
6	non-smoker	0
7	non-smoker	1
8	smoker	3
9	smoker	4
10	smoker	3
11	smoker	2
12	smoker	1
13	smoker	0
14	.	.

Рис. 106. База данных для применения критерия Манна-Уитни в программе SPSS

На рисунке 106 представлена база данных для применения критерия Манна-Уитни, где переменная табачный анамнез (smoking) – качественный тип данных, количество аборт (N_abortion) – количественный. Алгоритм выбора критерия: Analyze – Nonparametric Tests – Legacy Dialogs – 2 Independent Samples (рис. 107).

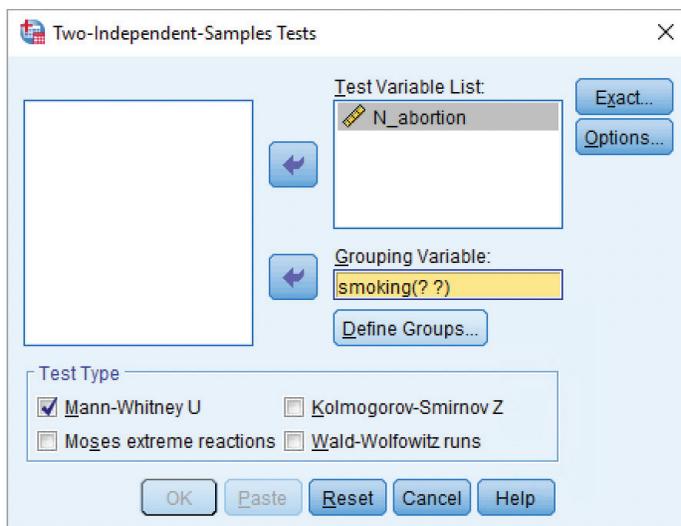


Рис. 107. Окно для выполнения критерия Манна-Уитни в программе SPSS

С помощью стрелки количественный признак – количество аборт – перекидываем в окошко Test Variable List; качественный smoking – в окошко Grouping Variable. Далее необходимо программе пояснить, какие группы между собой сравниваются, – нажимаем Define Groups (рис. 108).

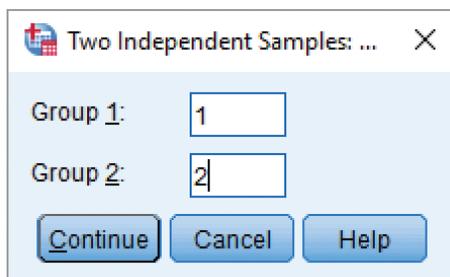


Рис. 108. Диалоговое окно Define Groups в ходе выполнения критерия Манна-Уитни в программе SPSS

Нам необходимо сравнить некурящих и курящих женщин, которые в базе представлены 1 и 2, соответственно. Поэтому вводим эти цифры, причем неважно, кто из них первая группа, а кто вторая. Нажимаем Continue. Результат представлен на рисунке 109.

Mann-Whitney Test

		Ranks			
		smoking	N	Mean Rank	Sum of Ranks
N_abortion	non-smoker		7	5,29	37,00
	smoker		6	9,00	54,00
Total			13		

Test Statistics^a

	N_abortion
Mann-Whitney U	9,000
Wilcoxon W	37,000
Z	-1,784
Asymp. Sig. (2-tailed)	,074
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,101 ^b

a. Grouping Variable: smoking

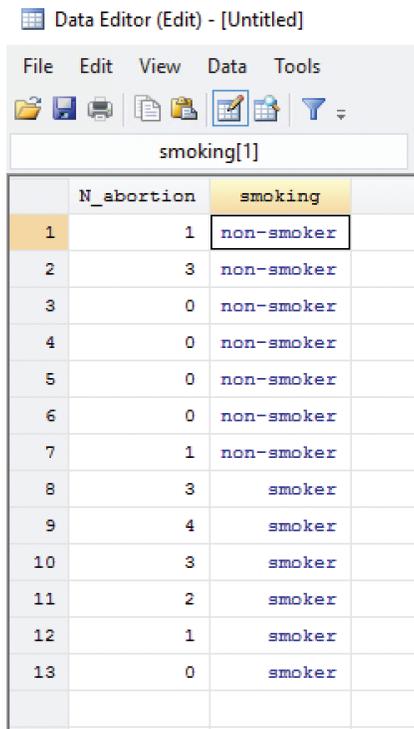
b. Not corrected for ties.

Рис. 109. Результат применения критерия Манна-Уитни в программе SPSS

В таблице Ranks представлен результат количества наблюдений (N), средний ранг (Mean Rank) и сумма рангов (Sum of Ranks) для каждой группы. В таблице Test Statistics содержатся значения статистических критериев (U и W) и уровень статистической значимости (Asymp.Sid. (2-tailed)). Так как p-уровень больше 0,05, то принимается нулевая гипотеза. Следовательно, делается вывод о том, что количество абортс среди курящих не отличается от количества абортс среди некурящих.

Критерий Манна-Уитни в программе STATA

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы STATA (рис. 110).



The screenshot shows the STATA Data Editor interface. The title bar reads "Data Editor (Edit) - [Untitled]". The menu bar includes "File", "Edit", "View", "Data", and "Tools". Below the menu bar is a toolbar with icons for file operations and data manipulation. The main window displays a dataset with the following data:

	N_abortion	smoking
1	1	non-smoker
2	3	non-smoker
3	0	non-smoker
4	0	non-smoker
5	0	non-smoker
6	0	non-smoker
7	1	non-smoker
8	3	smoker
9	4	smoker
10	3	smoker
11	2	smoker
12	1	smoker
13	0	smoker

Рис. 110. База данных для применения критерия Манна-Уитни в программе STATA

На рисунке 110 представлена база данных для применения критерия Манна-Уитни, где переменная табачный анамнез (smoking) – качественный тип данных, количество аборт (N_abortion) – количественный. Алгоритм выбора критерия: Statistics – Summaries, tables, and tests – Nonparametric tests of hypotheses – Wilcoxon rank-sum test (рис. 111).

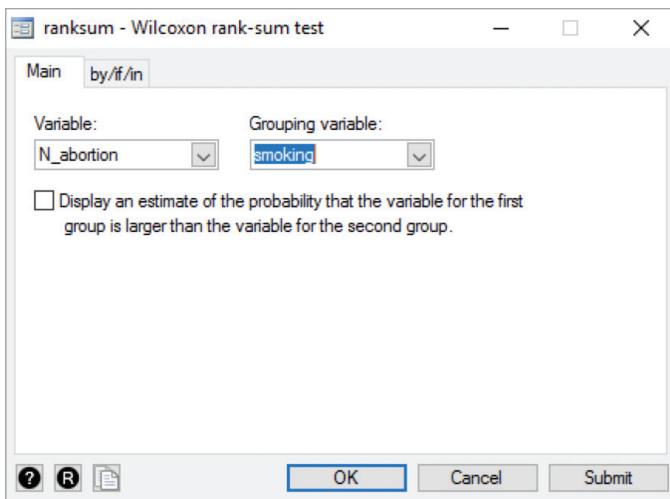


Рис. 111. Окно для выполнения критерия Манна-Уитни в программе STATA

В окошке Variable необходимо найти «что сравнивают», например, количество абортс (N_abortion), в Grouping variable – «у кого сравнивают», например, у женщин с различным табачным анамнезом (smoking). Результат представлен на рисунке 112.

```
Two-sample Wilcoxon rank-sum (Mann-Whitney) test
```

smoking	obs	rank sum	expected
non-smoker	7	37	49
smoker	6	54	42
combined	13	91	91

```

unadjusted variance      49.00
adjustment for ties      -3.77
-----
adjusted variance       45.23

Ho: N_abor~n(smoking==non-smoker) = N_abor~n(smoking==smoker)
z = -1.784
Prob > |z| = 0.0744

```

Рис. 112. Результат применения критерия Манна-Уитни в программе STATA

На рисунке 112 представлено количество наблюдений (obs), сумма рангов (rank sum), ожидаемая сумма рангов (expected), а также уровень статистической значимости ($\text{Prob} > |z|$). В данном примере p -уровень больше 0,05 ($p=0,0744$), что позволяет принять нулевую гипотезу и сделать вывод об отсутствии количества абортов у женщин с различным табачным анамнезом.

Одновыборочный критерий Вилкоксона

является аналогом парного критерия Стьюдента. Применяется данный критерий также, когда необходимо сравнить с эталонной величиной.

Условия применения:

- количественный признак, не подчиняющийся закону нормального распределения, либо качественный порядковый признак
- две связанные выборки

Например, изучали показатель «активность» по методике САН на начало рабочего дня и в конце. Можно ли утверждать, что активность меняется с течением времени?

H_0 : активность на начало рабочего дня не отличается от активности в конце рабочего дня ($p > 0,05$).

H_1 : активность на начало рабочего дня не отличается от активности в конце рабочего дня ($p \leq 0,05$).

Рассмотрим применение критерия одновыборочный критерий Вилкоксона в статистических программах.

Одновыборочный критерий Вилкоксона в программе SPSS

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы SPSS (рис. 113).

*Untitled1 [DataSet0] - IBM SPSS Statistics Data

File Edit View Data Transform Analyze

	activnost1	activnost2
1	4	4
2	5	3
3	6	4
4	7	5
5	5	5
6	6	2
7	5	2
8	6	4
9	7	3
10	4	4
11	5	3
12	7	3
13	7	4
14	6	5
15	5	3
16		

Рис. 113. База данных для применения
одновыборочного критерия Вилкоксона в программе SPSS

На рисунке 113 представлена база данных для применения одно-выборочного критерия Вилкоксона, где переменные активность на начало рабочего дня (activnost1) и активность в конце рабочего дня (activnost2) являются количественными признаками. Алгоритм выбора критерия в программе SPSS: Analyze – Nonparametric Tests – Legacy Dialogs – 2 Related Samples (рис. 114А).

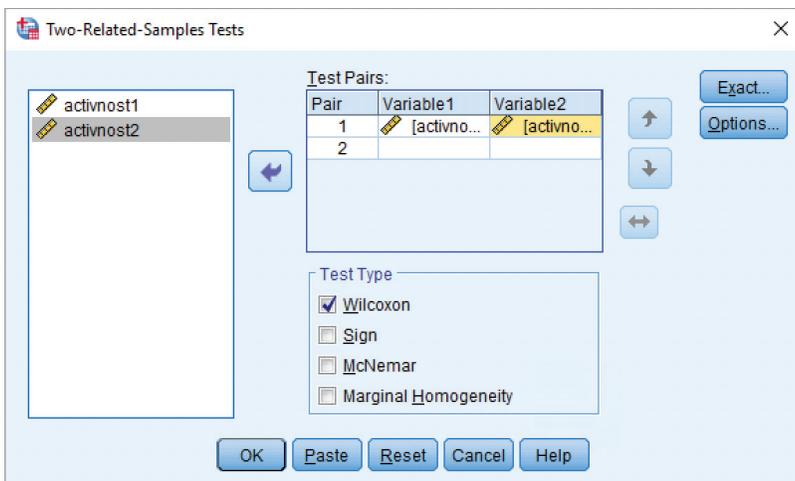


Рис. 114А. Окно для выполнения одновыборочного критерия Вилкоксона в программе SPSS

Переменные `activnost1` и `activnost2` с помощью стрелки переносим в окошко `Test Pairs`. Одновыборочный критерий Вилкоксона (`Wilcoxon`) выбран по умолчанию. Заходим во вкладку `Options` и ставим галочку `Quartiles`. Нажимаем `OK` (рис. 114Б).

Descriptive Statistics				
	N	Percentiles		
		25th	50th (Median)	75th
activnost1	15	5,00	6,00	7,00
activnost2	15	3,00	4,00	4,00

Wilcoxon Signed Ranks Test

		Ranks		
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
activnost2 - activnost1	Negative Ranks	12 ^a	6,50	78,00
	Positive Ranks	0 ^b	,00	,00
	Ties	3 ^c		
	Total	15		

a. activnost2 < activnost1

b. activnost2 > activnost1

c. activnost2 = activnost1

Test Statistics^a

		activnost2 - activnost1
Z		-3,108 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)		,002

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

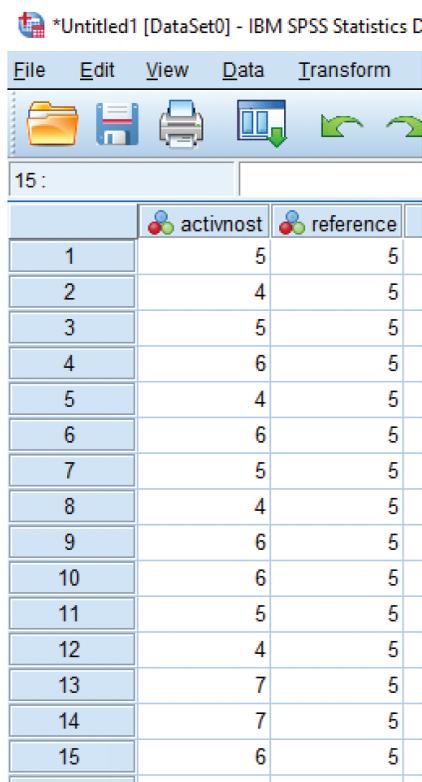
b. Based on positive ranks.

Рис. 114Б. Результат применения одновыборочного критерия Вилкоксона в программе SPSS

В таблице Descriptive Statistics можно найти медиану (50th Median), первый квартиль (25th percentiles) и третий квартиль (75th percentiles) для каждой переменной.

В таблице Ranks представлены результаты ранжирования – количество наблюдений (N), средний ранг (Mean Rank) и сумма рангов (Sum of Ranks) для позитивной разницы (Positive Ranks), негативной (Negative Ranks) и исключенных из анализа по причине нулевой разницы (Ties). В таблице Test Statistics представлен уровень статистической значимости (Asymp.Sig. (2-tailed)). Таким образом, р уровень меньше 0,05 ($p=0,002$), значит принимается альтернативная гипотеза. Мы можем утверждать, что показатель активности с течением времени изменяется. Для того, чтобы представить данные, целесообразнее рассчитать медиану и квартили, но по среднему рангу (Mean Rank) видно, что больше негативной разницы, а значит активность к концу рабочего дня снижается.

В ситуации, когда необходимо медианное значение сравнить с эталонной величиной, нужно создать в базе данных новую переменную (reference) и каждому случаю присвоить это значение (рис. 115).



The screenshot shows the IBM SPSS Statistics interface. The title bar reads '*Untitled1 [DataSet0] - IBM SPSS Statistics C'. The menu bar includes 'File', 'Edit', 'View', 'Data', and 'Transform'. Below the menu bar is a toolbar with icons for file operations and data manipulation. The main window displays a data table with 15 rows and 2 columns. The first column is labeled 'activnost' and the second is labeled 'reference'. The data values are as follows:

	activnost	reference
1	5	5
2	4	5
3	5	5
4	6	5
5	4	5
6	6	5
7	5	5
8	4	5
9	6	5
10	6	5
11	5	5
12	4	5
13	7	5
14	7	5
15	6	5

Рис. 115. База данных для применения одновыборочного критерия Вилкоксона в случае сравнения с эталонной величиной в программе STATA

Далее алгоритм расчета тот же, что рассматривался ранее.

Одновыборочный критерий Вилкоксона в программе STATA

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы STATA (рис. 116).

Data Editor (Edit) - [Untitled]

File Edit View Data Tools

activnost2[1]

	activnost1	activnost2
1	4	4
2	5	3
3	6	4
4	7	5
5	5	5
6	6	2
7	5	2
8	6	4
9	7	3
10	4	4
11	5	3
12	7	3
13	7	4
14	6	5
15	5	3

Рис. 116. База данных для применения одновыборочного критерия Вилкоксона в программе STATA

На рисунке 116 представлена база данных для применения одновыборочного критерия Вилкоксона, где переменные активность на начало рабочего дня (activnost1) и активность в конце рабочего дня (activnost2) являются количественными признаками. Алгоритм выбора критерия в программе STATA: Statistics – Summaries, tables, and tests – Nonparametric tests of hypotheses – Wilcoxon matched-pairs signed-rank test (рис. 117).

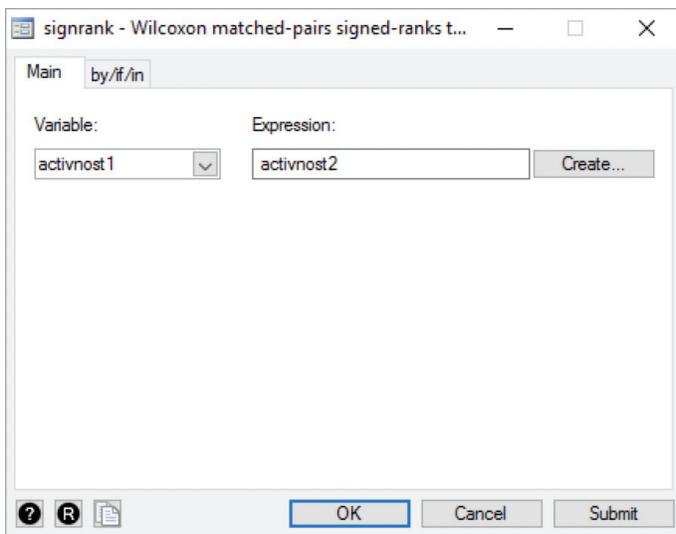


Рис. 117. Окно для выполнения одновыборочного критерия Вилкоксона в программе STATA

В окошке Variable необходимо найти переменную, например, активность на начало рабочего дня; в окошке Expression – либо прописать название второй переменной так, как она звучит в базе данных, либо выбрать ее. Для этого необходимо нажать Create – Variables и выбрать нужную переменную, например, активность в конце рабочего дня `activnost2`. Дважды нажать ОК и ОК. Результат представлен на рисунке 118.

Wilcoxon signed-rank test			
sign	obs	sum ranks	expected
positive	12	114	57
negative	0	0	57
zero	3	6	6
all	15	120	120
unadjusted variance		310.00	
adjustment for ties		-5.00	
adjustment for zeros		-3.50	
adjusted variance		301.50	
Ho: activnost1 = activnost2			
		z = 3.283	
		Prob > z = 0.0010	

Рис. 118. Результат применения одновыборочного критерия Вилкоксона в программе STATA

В отличие от программы SPSS в программе STATA учитываются в анализе нулевые изменения. В связи с этим уровень статистической значимости несколько отличается у двух программ. Так, в программе STATA он составил $p=0,001$, что меньше $0,05$; поэтому принимается альтернативная гипотеза.

Рассмотрим также применение данного критерия в случае необходимости сравнения с эталонной величиной. Алгоритм выбора критерия тот же: Statistics – Summaries, tables, and tests – Nonparametric tests of hypotheses – Wilcoxon matched-pairs signed-rank test (рис. 119).

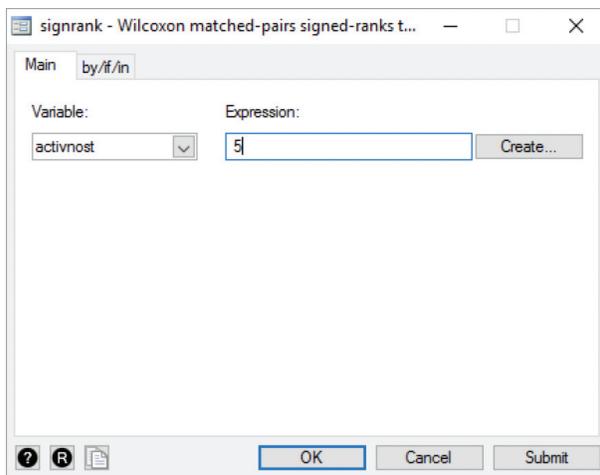


Рис. 119. Одновыборочный критерий Вилкоксона в случае сравнения с эталонной величиной в программе STATA

В окошке Variable выбираем необходимую переменную, например, `activnost`, а в окошке Expression – вносим эталонную величину, с которой хотим сравнить, например, 5 (рис. 120).

```

Wilcoxon signed-rank test

      sign |      obs  sum ranks  expected
-----+-----
  positive |         7      74      55
  negative |         4      36      55
  zero     |         4      10      10
-----+-----
      all |        15     120     120

unadjusted variance      310.00
adjustment for ties      -15.13
adjustment for zeros      -7.50
-----
adjusted variance        287.38

Ho: activnost = 5
      z = 1.121
Prob > |z| = 0.2624

```

Рис. 120. Результат применения одновыборочного критерия Вилкоксона в случае сравнения с эталонной величиной программе STATA

Уровень статистической значимости ($\text{Prob} > |z|$) больше 0,05 ($p=0,262$), что позволяет принять нулевую гипотезу. Следовательно, статистически значимых различий между медианой выборки и эталонной величиной нет.

Критерий Краскела-Уоллиса

используется для оценки различий по степени выраженности анализируемого признака одновременно между тремя и более выборками; однако критерий не позволяет определить направление изменения признака в выборке. Выборки могут содержать разное количество участников исследования.

Условия применения:

1. количественный признак, не подчиняющийся закону нормального распределения, либо качественный порядковый признак (порядков не менее 5)

2. три и более несвязанных выборки

Например, изучался показатель «психотизм» по методике Айзенка у мужчин с различным табачным анамнезом. Можно ли утверждать, что склонность к асоциальному поведению взаимосвязана с табачным анамнезом?

H_0 : показатель психотизм у мужчин с различным табачным анамнезом не отличается ($p > 0,05$).

H_1 : показатель психотизм у мужчин с различным табачным анамнезом отличается ($p \leq 0,05$).

Рассмотрим применение критерия Краскала-Уоллиса в статистических программах.

Критерий Краскела-Уоллиса в программе SPSS

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы SPSS (рис. 121).

*Untitled1 [DataSet0] - IBM SPSS Statistics Data Editor

File Edit View Data Transform Analyze

5 :

	smoking	psychotism
1	smoker	8
2	smoker	7
3	smoker	5
4	smoker	11
5	smoker	12
6	smoker	10
7	smoker	5
8	quitter	6
9	quitter	7
10	quitter	4
11	quitter	5
12	quitter	7
13	non-smoker	8
14	non-smoker	6
15	non-smoker	8
16	non-smoker	7
17	non-smoker	4
18	non-smoker	5
19	non-smoker	6
20	non-smoker	7

Рис. 121. База данных для критерия Краскела-Уоллиса в программе SPSS

На рисунке 121 представлена база данных для применения критерия Краскела-Уоллиса, где переменная *smoking* – табачный анамнез мужчины (*smoker* – курящий, *quitter* – отказавшийся от табакокурения и *non-smoker* – некурящий), переменная *psychotism* – показатель психотизма. Алгоритм выбора критерия в программе SPSS: Analyze – Nonparametric Tests – Legacy Dialogs – K Independent Samples... (рис. 122).

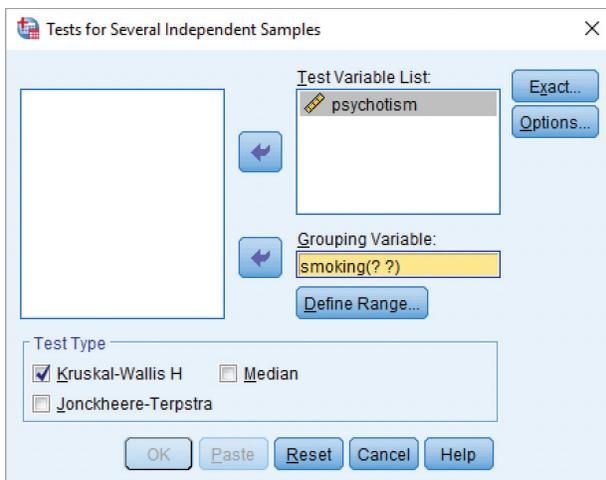


Рис. 122. Критерий Краскала-Уоллиса в программе SPSS

С помощью стрелки переменную *psychotism* перекидываем в окошко *Test Variable List*, а переменную *smoking* – в *Grouping Variable*. Далее необходимо пояснить, какие группы необходимо сравнить, нажав *Define Range* (рис. 123).

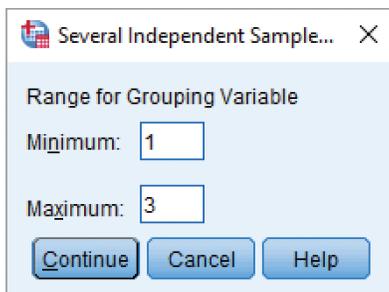


Рис. 123. Диалоговое окно *Define Range* в ходе выполнения критерия Краскала-Уоллиса в программе SPSS

В окошко *Minimum* необходимо поставить наименьшую цифру, в окошко *Maximum* – наибольшую. Так, в нашем примере три группы, значит вводим цифры 1 и 3, соответственно. Нажимаем *Continue*.

Критерий Краскела-Уоллиса стоит по умолчанию. Результат критерия представлен на рисунке 124.

Kruskal-Wallis Test

Ranks			
	smoking	N	Mean Rank
psychotism	smoker	7	13,43
	quitter	5	7,60
	non-smoker	8	9,75
	Total	20	

Test Statistics^{a,b}

	psychotism
Kruskal-Wallis H	3,137
df	2
Asymp. Sig.	,208

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable:
smoking

Рис. 124. Результат применения критерия Краскела-Уоллиса в программе SPSS

В таблице Ranks представлено количество наблюдений (N) и средний ранг (Mean Rank) в каждой группе. В таблице Test Statistics демонстрируется р-уровень (Asymp. Sig.). В данном примере уровень статистической значимости больше 0,05 ($p=0,208$), значит принимается нулевая гипотеза. Это позволяет сделать вывод о том, что нет статистически значимых различий по показателю психотизм у мужчин с разным табачным анамнезом. В случае, когда принимается альтернативная гипотеза, необходимо проводить попарное сравнение с помощью критерия Манна-Уитни, а именно, например, сравнить курящих и отказавшихся, курящих и некурящих, а также отказавшихся и некурящих. При таком апостериорном сравнении (три

попарных сравнения) необходимо скорректировать критический уровень статистической значимости – в данном случае он составит 0,017, а не 0,05 (Табл. 5).

Таблица 5

Количество возможных сравнений и уровни статистической значимости

	Количество сравниваемых групп			
	2	3	4	5
(а) Количество попарных сравнений	1	3	6	10
Критический уровень статистической значимости	0,050	0,017	0,008	0,005
(б) Количество сравнений с контрольной группой	1	2	3	4
Критический уровень статистической значимости	0,050	0,025	0,017	0,013

Критерий Краскела-Уоллиса в программе STATA

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы STATA (рис. 125).

Data Editor (Edit) - [Untitled]

File Edit View Data Tools

smoking[1]

	smoking	psychotism
1	smoker	8
2	smoker	7
3	smoker	5
4	smoker	11
5	smoker	12
6	smoker	10
7	smoker	5
8	quitter	6
9	quitter	7
10	quitter	4
11	quitter	5
12	quitter	7
13	non-smoker	8
14	non-smoker	6
15	non-smoker	8
16	non-smoker	7
17	non-smoker	4
18	non-smoker	5
19	non-smoker	6
20	non-smoker	7

Рис. 125. База данных для критерия Краскела-Уоллиса в программе STATA

На рисунке 125 представлена база данных для применения критерия Краскела-Уоллиса, где переменная *smoking* – табачный анамнез мужчины (*smoker* – курящий, *quitter* – отказавшийся от табакокурения и *non-smoker* – некурящий), переменная *psychotism* – показатель психотизма. Алгоритм выбора критерия в программе STATA: Statistics – Summaries, tables, and tests – Nonparametric tests of hypotheses – Kruskal-Wallis rank test (рис. 126).

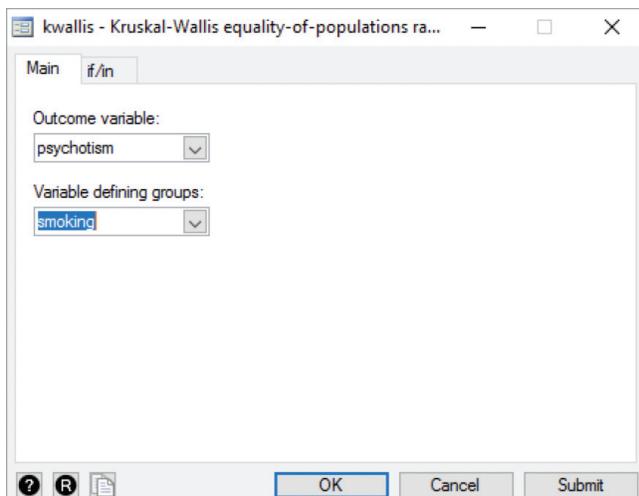


Рис. 126. Критерий Краскела-Уоллис в программе STATA

В окошке Outcome variable находим признак, который хотим сравнить, в окошке Variable defining groups – группирующую переменную, то есть у кого хотим сравнить. Нажимаем ОК. Результат представлен на рисунке 127.

`Kruskal-Wallis equality-of-populations rank test`

<code>smoking</code>	<code>Obs</code>	<code>Rank Sum</code>
<code>smoker</code>	7	94.00
<code>quitter</code>	5	38.00
<code>non-smoker</code>	8	78.00

`chi-squared = 3.045 with 2 d.f.`
`probability = 0.2181`

`chi-squared with ties = 3.137 with 2 d.f.`
`probability = 0.2083`

Рис. 127. Результат применения критерия Краскела-Уоллиса в программе STATA

В таблице рисунка 127 представлено количество наблюдений (Obs) и сумма рангов (Rank Sum). В зависимости от того, какой способ расчета критерия, с учетом нулевых изменений или без (with ties), под таблицей представлено значение критерия (chi-squared) и р-уровень (probability). В нашем примере $p=0,208$; поэтому принимается нулевая гипотеза об отсутствии различий по показателю психотизма у мужчин с различным табачным анамнезом. В случае, когда принимается альтернативная гипотеза, необходимо проводить попарное сравнение с помощью критерия Манна-Уитни, то есть, сравнивается первая группа со второй, первая с третьей и вторая с третьей.

Критерий Фридмана

позволяет установить статистически значимые различия сразу в нескольких измерениях (от 3 до 100), но не дает возможности выявить направление изменений.

Условия применения:

– количественный признак, не подчиняющийся закону нормального распределения, либо качественный порядковый (порядков не менее 5)

– связанная выборка

– три и более измерений

Например, изучался показатель настроения в начале отпуска, в середине и в конце. Можно ли утверждать, что настроение меняется в зависимости от периода отпуска?

H_0 : показатель настроение не отличается в разные периоды отпуска ($p > 0,05$).

H_1 : показатель настроение отличается в разные периоды отпуска ($p \leq 0,05$).

Рассмотрим применение критерия Фридмана в статистических программах.

Критерий Фридмана в программе SPSS

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы SPSS (рис. 128).

*Untitled1 [DataSet0] - IBM SPSS Statistics Data Editor

File Edit View Data Transform Analyze Graphs UI

16 : nastroeie3

	nastroeie1	nastroeie2	nastroeie3
1	6,00	6,00	4,00
2	5,00	6,00	5,00
3	7,00	6,00	4,00
4	6,00	7,00	6,00
5	5,00	6,00	4,00
6	6,00	6,00	5,00
7	7,00	6,00	4,00
8	5,00	6,00	6,00
9	6,00	7,00	5,00
10	7,00	7,00	4,00
11	6,00	6,00	6,00
12	7,00	5,00	5,00
13	7,00	6,00	6,00
14	6,00	7,00	5,00
15	6,00	6,00	5,00

Рис. 128. База данных для критерия Фридмана в программе SPSS

На рисунке 128 представлена база данных для применения критерия Фридмана, где переменная настроение представлена трижды – в начале отпуска, в середине и в конце. Алгоритм выбора критерия в программе SPSS: Analyze – Nonparametric Tests – Legacy Dialogs – K Related Samples... (рис. 129).

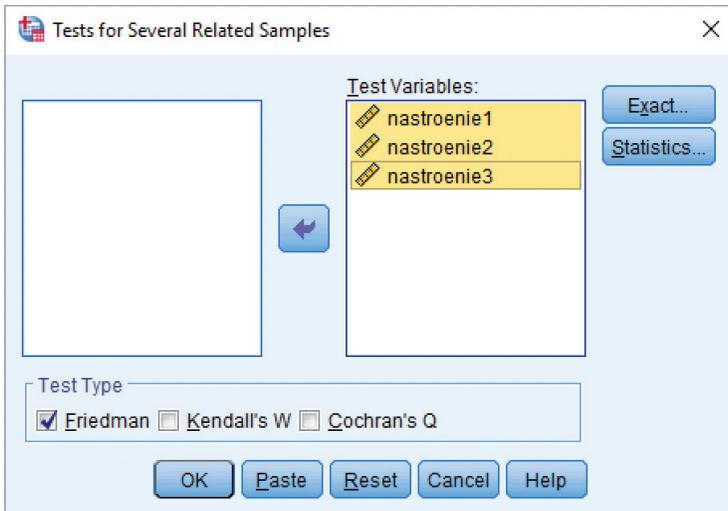


Рис. 129. Окно для выполнения критерия Фридмана в программе SPSS

С помощью стрелки все три переменные перекидываются в окошко Test variables. Критерий Фридмана (Friedman) стоит по умолчанию. Во вкладке Statistics можно поставить галочку Quartiles, чтобы посчитать квантили. Результат представлен на рисунке 130.

Descriptive Statistics

	N	Percentiles		
		25th	50th (Median)	75th
nastroenie1	15	6,00	6,00	7,00
nastroenie2	15	6,00	6,00	7,00
nastroenie3	15	4,00	5,00	6,00

Friedman Test

Ranks	
	Mean Rank
nastroenie1	2,27
nastroenie2	2,43
nastroenie3	1,30

Test Statistics ^a	
N	15
Chi-Square	14,340
df	2
Asymp. Sig.	,001

a. Friedman Test

Рис. 130. Результат применения критерия Фридмана в программе SPSS

В таблице Descriptive Statistics можно найти медиану (50th Median), первый квартиль (25th percentiles) и третий квартиль (75th percentiles) для каждой переменной.

В таблице Ranks представлен средний ранг (Mean Rank) для каждой переменной; в таблице Test Statistics – уровень статистической значимости (Asymp.Sig.). Таким образом, p уровень меньше 0,05 ($p=0,001$), значит принимается альтернативная гипотеза. Мы можем утверждать, что показатель настроения изменяется в зависимости от периода отпуска. Однако мы не можем утверждать, между какими именно периодами есть различия. С этой целью проводится попарное сравнение с помощью одновыборочного критерия Вилкоксона. Кроме того, в этой ситуации также изменяется и критический уровень статистической значимости (см. табл. 5).

Рассчитаем его для примера. Алгоритм выбора критерия в программе SPSS: Analyze – Nonparametric Tests – Legacy Dialogs – 2 Related Samples (рис. 131).

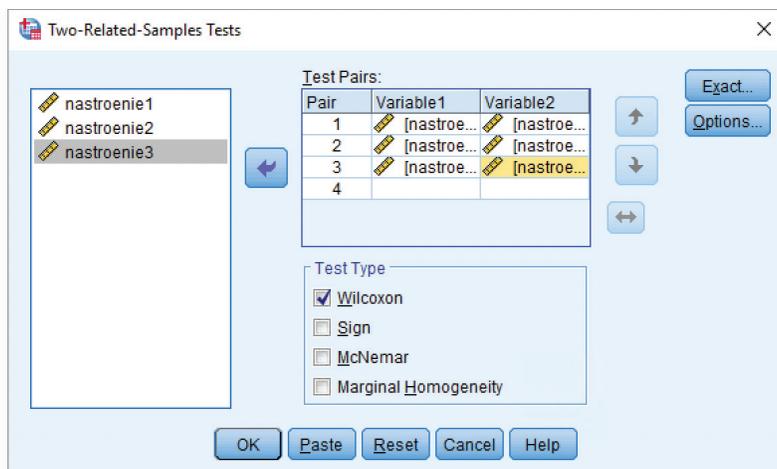


Рис. 131. Парное сравнение после критерия Фридмана в программе SPSS

Необходимо создать три парных сравнения – «nastroenie1-nastroenie2», «nastroenie1-nastroenie3», «nastroenie2-nastroenie3». Нажать ОК. Результат представлен на рисунке 132.

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
nastroenie2 - nastroenie1	Negative Ranks	4 ^a	6,25	25,00
	Positive Ranks	6 ^b	5,00	30,00
	Ties	5 ^c		
	Total	15		
nastroenie3 - nastroenie1	Negative Ranks	11 ^d	6,73	74,00
	Positive Ranks	1 ^e	4,00	4,00
	Ties	3 ^f		
	Total	15		
nastroenie3 - nastroenie2	Negative Ranks	11 ^g	6,00	66,00
	Positive Ranks	0 ^h	,00	,00
	Ties	4 ⁱ		
	Total	15		

Test Statistics^a			
	nastroenie2 - nastroenie1	nastroenie3 - nastroenie1	nastroenie3 - nastroenie2
Z	-,277 ^b	-2,812 ^c	-3,002 ^c
Asymp. Sig. (2-tailed)	,782	,005	,003

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on negative ranks.

c. Based on positive ranks.

Рис. 132. Результат апостериорного сравнения после критерия Фридмана в программе SPSS

В таблице Ranks представлено количество наблюдений (N), средний ранг (Mean Rank) и сумма рангов (Sum of Ranks) для каждой пары сравнения. В таблице Test Statistics демонстрируется р-уровень (Asymp. Sig.). В случае трех групп сравнения критический уровень статистической значимости составляет $p=0,017$. Соответственно, статистически значимые различия наблюдались по показателю настроение между первым-третьим и вторым-третьим измерениями.

Критерий Фридмана в программе STATA

В программе STATA критерий Фридмана отсутствует. Его можно заменить, проведя сразу апостериорные сравнения (с помощью одновыборочного критерия Вилкоксона) с коррекцией критического уровня статистической значимости.

Критерий Хи-квадрат Пирсона

Хи-квадрат Пирсона – это сравнение частот, которые вы наблюдаете в определенных категориях, с частотами, которые вы могли бы случайно ожидать в этих категориях. Таким образом, Хи-квадрат Пирсона применяется тогда, когда необходимо найти взаимосвязь между двумя качественными признаками.

Условия применения:

- не используется в случае «до-после»
- в случае четырехпольной таблицы все ожидаемые числа должны быть более 5; в случае многопольной – доля клеток с ожидаемым числом меньше 5 не должна превышать 20%.

Например, изучалась взаимосвязь между полом и табачным анамнезом. Можно ли утверждать, что курящих мужчин больше, чем женщин?

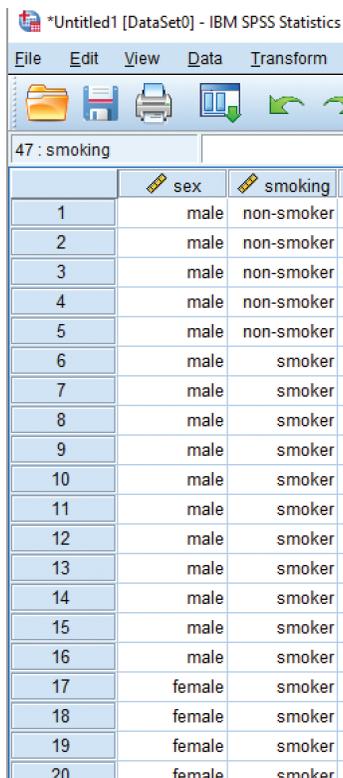
H_0 – доля курящих мужчин не отличается от доли курящих женщин ($p > 0,05$)

H_1 – доля курящих мужчин отличается от доли курящих женщин ($p \leq 0,05$)

Рассмотрим применение критерия Хи-квадрат Пирсона в статистических программах.

Критерий Хи-квадрат Пирсона в программе SPSS

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы SPSS (рис. 133).



The screenshot shows the IBM SPSS Statistics interface. The title bar reads '*Untitled1 [DataSet0] - IBM SPSS Statistics'. The menu bar includes 'File', 'Edit', 'View', 'Data', and 'Transform'. Below the menu bar are icons for file operations (folder, save, print, save as, save all) and data operations (import, export). The main window displays a data table with the following content:

	sex	smoking
1	male	non-smoker
2	male	non-smoker
3	male	non-smoker
4	male	non-smoker
5	male	non-smoker
6	male	smoker
7	male	smoker
8	male	smoker
9	male	smoker
10	male	smoker
11	male	smoker
12	male	smoker
13	male	smoker
14	male	smoker
15	male	smoker
16	male	smoker
17	female	smoker
18	female	smoker
19	female	smoker
20	female	smoker

Рис. 133. База данных для критерия Хи-квадрат Пирсона в программе SPSS

На рисунке 133 представлена база данных для применения критерия Хи-квадрат Пирсона, где переменная пол (sex) подразделяется на мужчин (male) и женщин (female), а табачный анамнез (smoking) – на курящих (smoker) и некурящих (non-smoker). Алгоритм выбора критерия в программе SPSS: Analyze – Descriptive Statistics – Crosstabs (рис. 134).

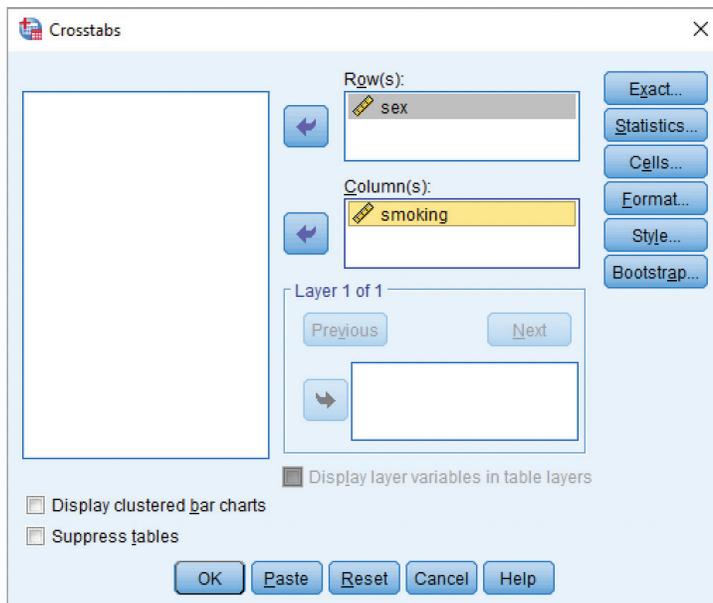


Рис. 134. Хи-квадрат Пирсона в программе SPSS

С помощью стрелки переменную sex переносим в окошко Row(s), smoking – Column(s); причем не важно, куда какую переменную переносить. Нажимаем вкладку Statistics (рис. 135).

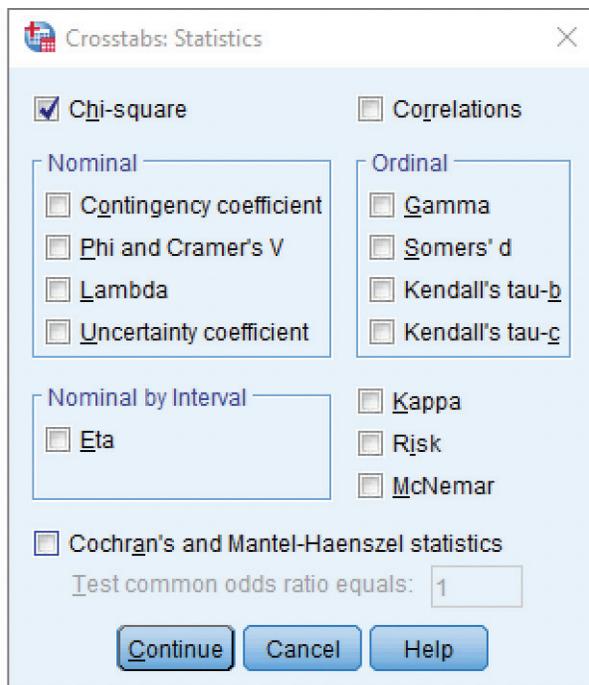


Рис. 135. Диалоговое окно Statistics в ходе выполнения критерия Хи-квадрат Пирсона в программе SPSS

Необходимо поставить галочку у критерия Хи-квадрат Пирсона – Chi-square и нажать Continue. Нажимаем вкладку Cells (рис. 136).

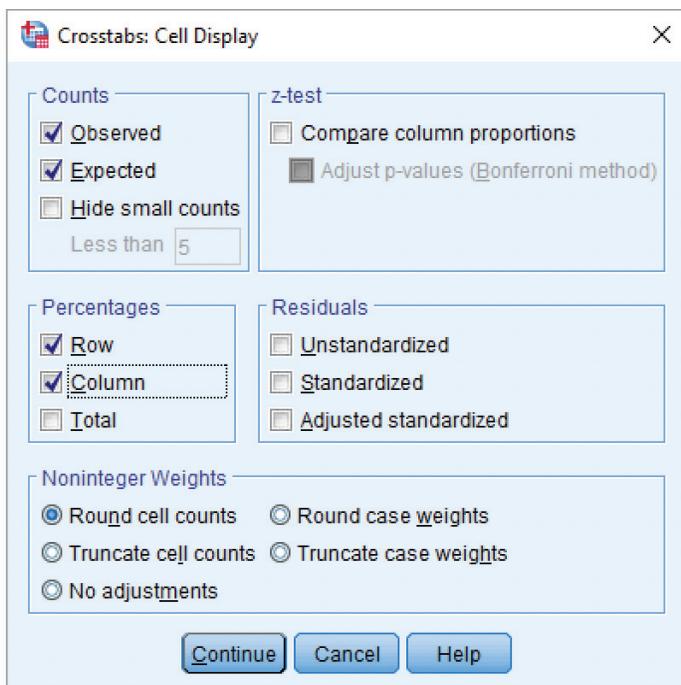


Рис. 136. Диалоговое окно Cells в ходе выполнения критерия Хи-квадрат Пирсона в программе SPSS

В окошке Counts нужно поставить галочки, чтобы отразились наблюдаемые (Observed) и ожидаемые (Expected) числа. В окошке Percentages галочки ставятся у Row (расчет процентов по строчкам) и Column (расчет процентов по столбцам). Нажимаем Continue. Результат представлен на рисунке 137.

Case Processing Summary

	Cases					
	Valid		Missing		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
sex * smoking	45	100,0%	0	0,0%	45	100,0%

sex * smoking Crosstabulation

sex	male	Count	smoking		Total
			smoker	non-smoker	
male	Count	11	5	16	
	Expected Count	6,8	9,2	16,0	
	% within sex	68,8%	31,3%	100,0%	
	% within smoking	57,9%	19,2%	35,6%	
female	Count	8	21	29	
	Expected Count	12,2	16,8	29,0	
	% within sex	27,6%	72,4%	100,0%	
	% within smoking	42,1%	80,8%	64,4%	
Total	Count	19	26	45	
	Expected Count	19,0	26,0	45,0	
	% within sex	42,2%	57,8%	100,0%	
	% within smoking	100,0%	100,0%	100,0%	

Chi-Square Tests

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	7,162 ^a	1	,007		
Continuity Correction ^b	5,574	1	,018		
Likelihood Ratio	7,253	1	,007		
Fisher's Exact Test				,012	,009
Linear-by-Linear Association	7,003	1	,008		
N of Valid Cases	45				

a. 0 cells (0,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 6,76.

b. Computed only for a 2x2 table

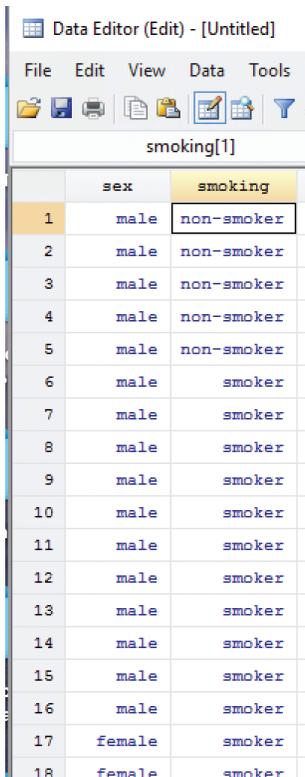
Рис. 137. Результат Хи-квадрат Пирсона в программе SPSS

Таблица Crosstabulation содержит информацию о количествах наблюдений (Count), ожидаемых числах (Expected Count), доли в зависимости от пола (% within sex) или табачного анамнеза (% within smoking). Таблица Chi-square tests демонстрирует уровень статистической значимости (Asymptotic Significance 2-sided) для критерия Хи-квадрат Пирсона (Pearson Chi-Square) и для точного критерия Фишера (Fisher's Exact Test). Точный критерий Фишера применя-

ется тогда, когда не выполняется условие для критерия Хи-квадрат Пирсона – в случае четырехпольной таблицы все ожидаемые числа должны быть более 5; в случае многопольной – доля клеток с ожидаемым числом меньше 5 не должна превышать 20%. В нашем примере все ячейки имеют ожидаемые числа (Expected Count) больше 5; значит $p=0,007$. Принимаем альтернативную гипотезу, а так как курящих среди мужчин 68,8%, а среди женщин 27,6%, то мы можем утверждать, что курящих мужчин больше, чем женщин.

Критерий Хи-квадрат Пирсона в программе STATA

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы STATA (рис. 138).



	sex	smoking
1	male	non-smoker
2	male	non-smoker
3	male	non-smoker
4	male	non-smoker
5	male	non-smoker
6	male	smoker
7	male	smoker
8	male	smoker
9	male	smoker
10	male	smoker
11	male	smoker
12	male	smoker
13	male	smoker
14	male	smoker
15	male	smoker
16	male	smoker
17	female	smoker
18	female	smoker

Рис. 138. База данных для критерия Хи-квадрат Пирсона в программе STATA

На рисунке 138 представлена база данных для применения критерия Хи-квадрат Пирсона, где переменная пол (sex) подразделяется на мужчин (male) и женщин (female), а табачный анамнез (smoking) – на курящих (smoker) и некурящих (non-smoker). Алгоритм выбора критерия в программе STATA: Statistics – Summaries, tables, and tests – Frequency tables – All possible two-way tables (рис. 139).

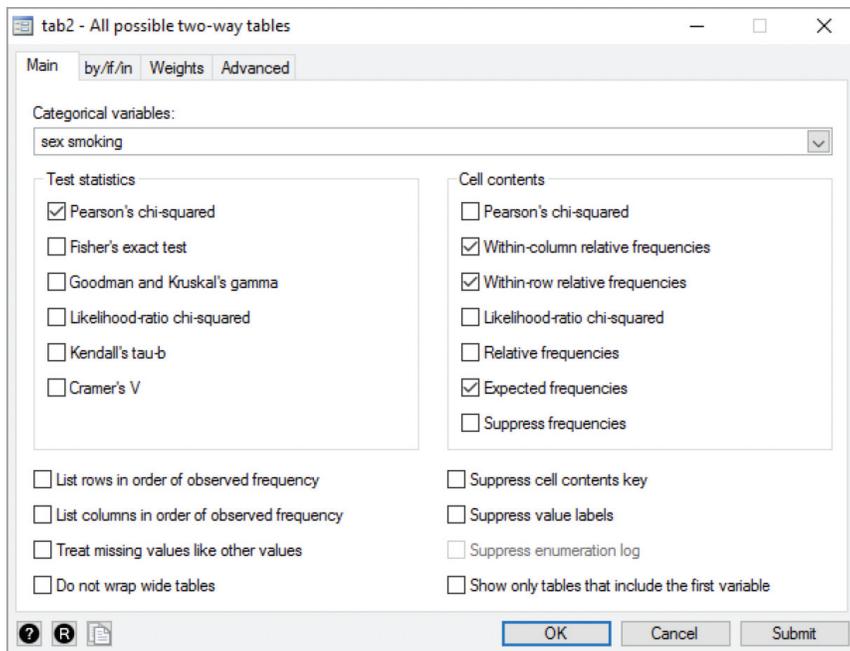


Рис. 139. Хи-квадрат Пирсона в программе STATA

В окошке Categorical variables выбрать две переменные – sex, smoking. Поставить галочку в Test statistics – Pearson's chi-squared; в Cell contents – Within-column relative frequencies (проценты по столбцам), Within-row relative (проценты по строчкам), Expected frequencies (ожидаемые числа). Нажимаем ОК. Результат представлен на рисунке 140.

sex	smoking		Total
	smoker	non-smoke	
male	11	5	16
	6.8	9.2	16.0
	68.75	31.25	100.00
	57.89	19.23	35.56
female	8	21	29
	12.2	16.8	29.0
	27.59	72.41	100.00
	42.11	80.77	64.44
Total	19	26	45
	19.0	26.0	45.0
	42.22	57.78	100.00
	100.00	100.00	100.00

Pearson chi2(1) = 7.1620 Pr = 0.007

Рис. 140. Результат критерия Хи-квадрат Пирсона в программе STATA

В таблице рисунка 140 первая строка – количество наблюдений, вторая – ожидаемое число, третья – процент по строчкам, четвертая – процент по столбцам. Значение р-уровня (Pr) меньше 0,05 ($p=0,007$) свидетельствует о взаимосвязи пола и табачного анамнеза. Более того, по таблице можно констатировать, что курящих мужчин встречается чаще, чем курящих женщин (57,9% и 42,1%, соответственно).

Критерий Мак-Немара

Критерий Мак-Немара применяется для анализа связанных выборок при измерении с помощью дихотомической переменной.

Условия:

- качественные данные (дихотомический признак)
- две связанные выборки

Например, изучалось влияние антитабачной программы на распространенность табакокурения. Можно ли утверждать, что программа эффективно повлияла на распространенность табакокурения?

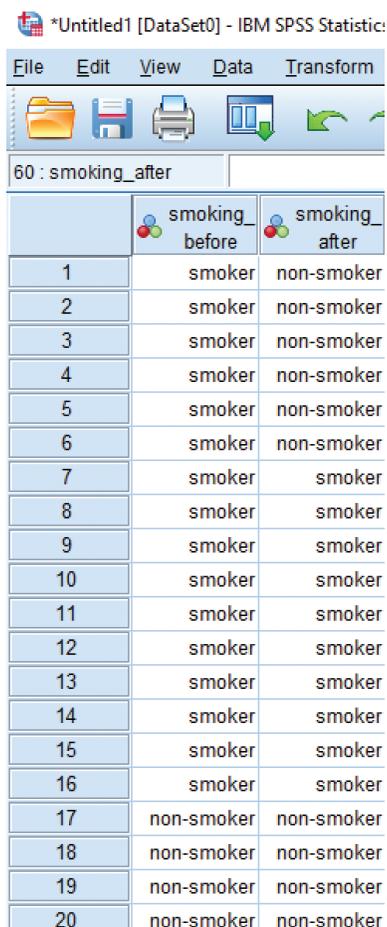
H_0 – доля курящих до программы и после одинаковая ($p > 0,05$)

H_1 – доля курящих до программы и после разная ($p \leq 0,05$).

Рассмотрим применение критерия Мак-Немара в статистических программах.

Критерий Мак-Немара в программе SPSS

Составим базу данных по выше представленному примеру с применением программы SPSS (рис. 141).



The screenshot shows the IBM SPSS Statistics interface. The title bar reads '*Untitled1 [DataSet0] - IBM SPSS Statistics:'. The menu bar includes File, Edit, View, Data, and Transform. Below the menu bar is a toolbar with icons for opening files, saving, printing, and undo. The main window displays a data table with the following content:

	smoking_before	smoking_after
1	smoker	non-smoker
2	smoker	non-smoker
3	smoker	non-smoker
4	smoker	non-smoker
5	smoker	non-smoker
6	smoker	non-smoker
7	smoker	smoker
8	smoker	smoker
9	smoker	smoker
10	smoker	smoker
11	smoker	smoker
12	smoker	smoker
13	smoker	smoker
14	smoker	smoker
15	smoker	smoker
16	smoker	smoker
17	non-smoker	non-smoker
18	non-smoker	non-smoker
19	non-smoker	non-smoker
20	non-smoker	non-smoker

Рис. 141. База данных для критерия Мак-Немар в программе SPSS

На рисунке 141 представлена база данных для применения критерия Мак-Немара, где переменная `smoking_before` означает статус табакокурения до программы, а переменная `smoking_after` – после. Алгоритм выбора критерия в программе SPSS: Analyze – Descriptive Statistics – Crosstabs (рис. 142).

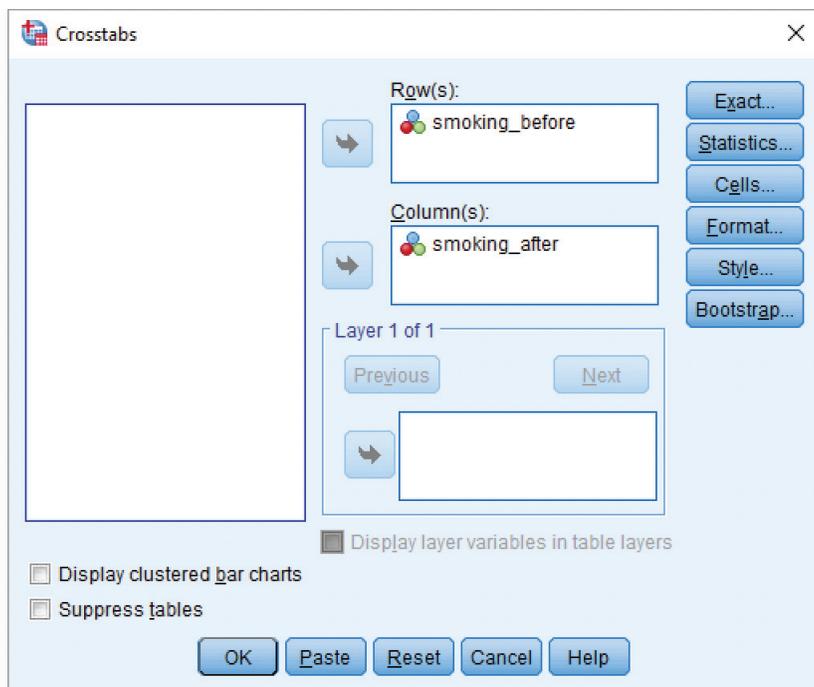


Рис. 142. Критерий Мак-Немара в программе SPSS

С помощью стрелки переменную `smoking_before` переносим в окошко `Row(s)`, `smoking_after` – `Column(s)`; причем не важно, куда какую переменную переносить. Нажимаем вкладку `Statistics` (рис. 143).

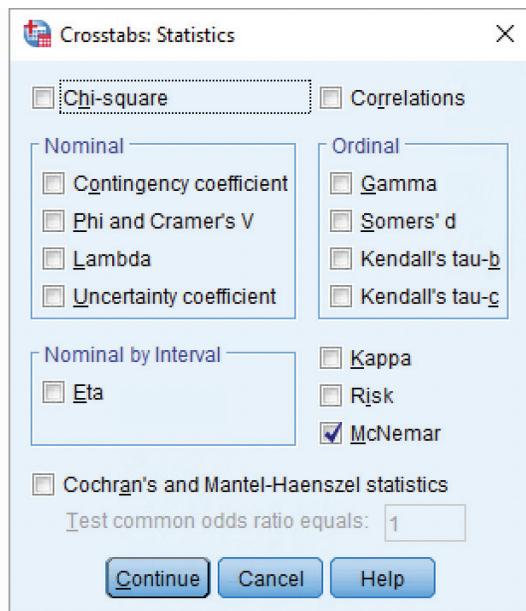


Рис. 143. Диалоговое окно Statistics в ходе выполнения критерия Мак-Немара в программе SPSS

Необходимо поставить галочку у критерия Мак-Немара (McNemar). Нажимаем вкладку Cells (рис. 144).

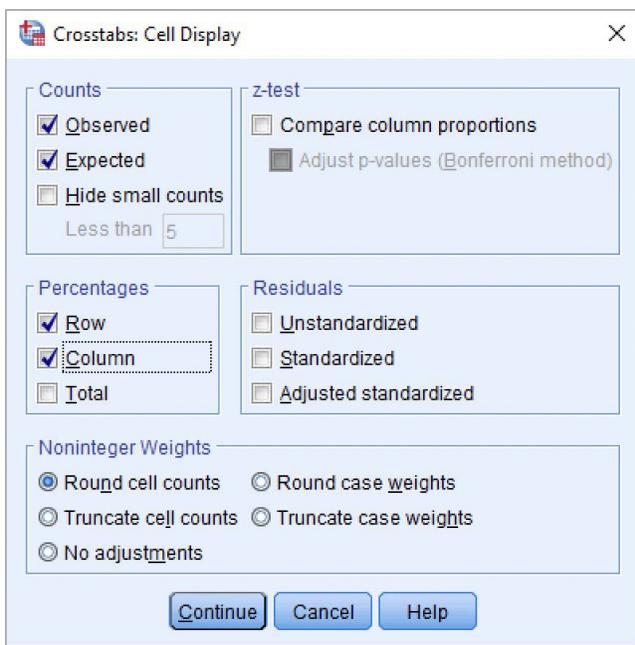


Рис. 144. Диалоговое окно Cells в ходе выполнения критерия Мак-Немара в программе SPSS

В окошке Counts нужно поставить галочки, чтобы отразились наблюдаемые (Observed) и ожидаемые (Expected) числа. В окошке Percentages галочки ставятся у Row (расчет процентов по строчкам) и Column (расчет процентов по столбцам). Нажимаем Continue. Результат представлен на рисунке 145.

smoking_before * smoking_after Crosstabulation

		smoking_after		Total	
		smoker	non-smoker		
smoking_before	smoker	Count	15	15	30
		Expected Count	9,2	20,8	30,0
		% within smoking_before	50,0%	50,0%	100,0%
		% within smoking_after	83,3%	36,6%	50,8%
	non-smoker	Count	3	26	29
		Expected Count	8,8	20,2	29,0
		% within smoking_before	10,3%	89,7%	100,0%
		% within smoking_after	16,7%	63,4%	49,2%
Total	Count	18	41	59	
	Expected Count	18,0	41,0	59,0	
	% within smoking_before	30,5%	69,5%	100,0%	
	% within smoking_after	100,0%	100,0%	100,0%	

Chi-Square Tests

	Value	Exact Sig. (2-sided)
McNemar Test		,008 ^a
N of Valid Cases	59	

a. Binomial distribution used.

Рис. 145. Результат критерия Мак-Немара в программе SPSS

Таблица Crosstabulation содержит информацию о количествах наблюдений (Count), ожидаемых числах (Expected Count), доли в зависимости от пола (% within sex) или табачного анамнеза (% within smoking). Таблица Chi-Square Tests демонстрирует p-уровень (Exact Sig 2-sided) и количество валидных случаев (N of valid Cases). Полученный p-уровень ($p=0,008$) свидетельствует о том, что принимается альтернативная гипотеза, то есть доля курящих до программы и после разная, а именно, антитабачная программа работает эффективно.

Критерий Мак-Немара в программе STATA

Для расчета критерия Мак-Немара в программе STATA необходимо использовать функцию Command (рис. 146).

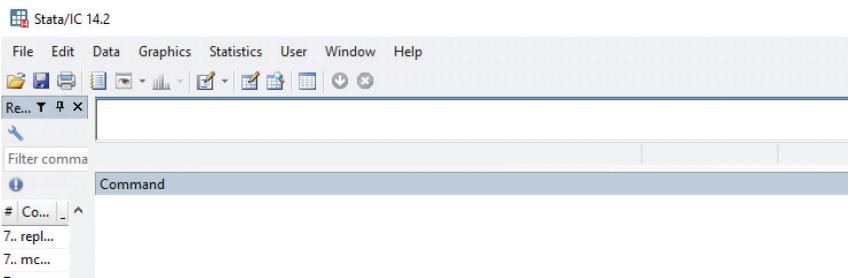


Рис. 146. Функция Command в программе STATA

Для того, чтобы использовать данную функцию, необходимо построить таблицу сопряженности Statistics – Summaries, tables, and tests – Frequency tables – All possible two-way table (рис. 147).

smoking_be fore	smoking_after		Total
	smoker	non-smoker	
smoker	15	15	30
non-smoker	3	26	29
Total	18	41	59

Рис. 147. Таблица сопряженности в программе STATA

Таблица сопряженности необходима для ввода команды в строку Command (рис. 148).

smoking_be fore	smoking_after		Total
	smoker	non-smoke	
smoker	15	15	30
non-smoker	3	26	29
Total	18	41	59

.

Command
mcci 15 15 3 26

Рис. 148. Строка Command в программе STATA

Далее нажимается ENTER. Результат анализа представлен на рисунке 149.

Cases	Controls		Total
	Exposed	Unexposed	
Exposed	15	15	30
Unexposed	3	26	29
Total	18	41	59

McNemar's chi2(1) = 8.00 Prob > chi2 = 0.0047
Exact McNemar significance probability = 0.0075

Рис. 149. Результат критерия Мак-Немара в программе STATA

Под таблицей сопряженности представлено значение критерия Мак-Немара и уровень статистической значимости (Prob > chi2). В случае малочисленной выборки p уровень определяется по Exact McNemar significance probability. В нашем примере в ячейке «не-курящий – курящий» всего 3 наблюдения, соответственно, уровень статистической значимости равен 0,008. Это позволяет принять альтернативную гипотезу и сделать вывод о том, что доля курящих до программы и после разная, а именно, антитабачная программа работает эффективно.

Для расчета критерия Мак-Немара в программе STATA можно использовать таблицу для эпидемиологов: Statistics – Epidemiology and related – Tables for epidemiologists – Matched case-control calculator (рис. 150).

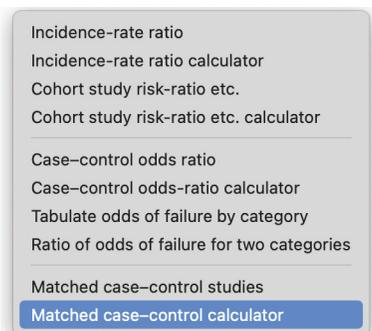


Рис. 150. Критерий Мак-Немара в программе STATA

Далее необходимо внести данные в таблицу, сопоставив изменения до-после (рис. 151).

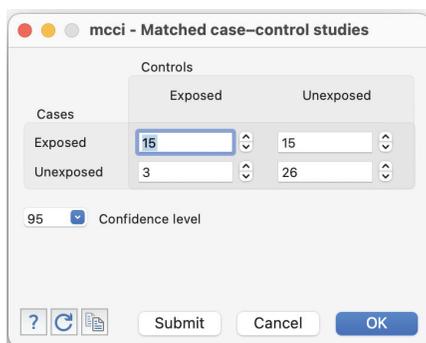


Рис. 151. Диалоговое окно в ходе выполнения критерия Мак-Немара в программе STATA

Сопоставив данные, нажимаем ОК (рис. 152).

```

. mcci 15 15 3 26

```

Cases	Controls		Total
	Exposed	Unexposed	
Exposed	15	15	30
Unexposed	3	26	29
Total	18	41	59

```

McNemar's chi2(1) =      8.00    Prob > chi2 = 0.0047
Exact McNemar significance probability    = 0.0075

Proportion with factor
Cases      .5084746
Controls   .3050847    [95% conf. interval]

difference .2033898    .0554044    .3513752
ratio      1.666667     1.16531    2.383725
rel. diff. .2926829     .122111    .4632549

odds ratio      5      1.414424    26.9446    (exact)

```

Рис. 152. Результат критерия Мак-Немара в программе STATA с применением таблицы для эпидемиологов

2.4. Корреляционный анализ

Корреляционный анализ позволяет определить силу и направление взаимосвязи между переменными, но не дает возможность выявить причинно-следственные связи.

Направление корреляционной связи может быть прямым (положительным) и обратным (отрицательным).

Прямое направление – с увеличением или уменьшением значений факторного признака происходит увеличение или уменьшение значений результативного признака соответственно.

Обратное направление – с увеличением значений факторного признака происходит уменьшение значений результативного признака и, наоборот.

Сила связи не зависит от ее направленности и определяется по абсолютному значению коэффициента корреляции (r).

Коэффициент корреляции – это величина, которая может варьировать от +1,0 до -1,0.

Сила (теснота) взаимосвязи условно подразделяется на 5 градаций (табл. 6).

Таблица 6

Сила взаимосвязи в корреляционном анализе

Теснота взаимосвязи	Направление взаимосвязи	
	прямая	обратная
нет	0	0
слабая	от 0,01 до 0,29	от -0,01 до -0,29
средняя	от 0,3 до 0,69	от -0,3 до -0,69
сильная	от 0,7 до 0,99	от -0,7 до -0,99
функциональная (полная)	1,0	-1,0

Выбор соответствующего коэффициента корреляции определяется шкалами, которыми измерены переменные (табл. 7).

Таблица 7

Коэффициенты корреляции в зависимости от типа шкал переменных

Тип шкалы		Коэффициент корреляции
переменная X	переменная Y	
интервальная, дискретная	интервальная, дискретная	коэффициент Пирсона
интервальная, ранговая	интервальная, ранговая	коэффициент Спирмена
ранговая	ранговая	коэффициент Кендалла
дихотомическая	дихотомическая	коэффициент ϕ
дихотомическая	ранговая	рангово-бисериальный
дихотомическая	интервальная, дискретная	бисериальный

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Что позволяет изучить корреляционный анализ?
2. Можно ли с помощью корреляционного анализа изучить причинно-следственные связи?

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. По результатам корреляционного анализа коэффициент корреляции составил -0,747 при $p=0,048$. Что можно сказать о полученной взаимосвязи?

2.4.1. Методы корреляционного анализа с применением статистических программ SPSS и STATA

Параметрическая корреляция

Коэффициент корреляции Пирсона используется наиболее часто. Он характеризует наличие только линейной связи между признаками, обозначаемыми, как правило, символами X и Y . Формула расчета коэффициента построена таким образом, что если связь между признаками имеет линейный характер, то коэффициент Пирсона точно устанавливает тесноту этой связи. Поэтому он называется также коэффициентом линейной корреляции Пирсона.

Условия:

- обе переменные количественные
- нормальное распределение признаков (как минимум одного, а лучше оба)
- зависимость между переменными носит линейный характер
- гомоскедастичность (т.е. вариабельность одной переменной не зависит от значений другой переменной)
- парность наблюдений (признак X и Y изучается у одних и тех же участников исследования)
- как и все параметрические методы не рекомендуется проводить при выборке меньше 25 наблюдений.

Например, изучалась взаимосвязь между агрессивностью и психотизмом (склонность к асоциальному поведению). Можно ли утверждать, что чем выше психотизм, тем выше агрессивность?

H_0 – нет взаимосвязи между показателем психотизм и агрессивность ($p > 0,05$)

H_1 – есть взаимосвязь между показателем психотизм и агрессивность ($p \leq 0,05$)

Для того чтобы проверить, носит ли зависимость между переменными линейный характер и гомоскедастичность, нужно построить график разброса (скаттерограмму) (рис. 153). При соблюдении этих условий разброс данных переменной Y будет приблизительно одинаковым для всех значений переменной X . Если вариабельность переменной Y меняется в зависимости от значений переменной X (скаттерограмма имеет вид трапеции или треугольника), то тогда коэффициент корреляции Пирсона не будет должным образом отражать взаимосвязь между переменными.

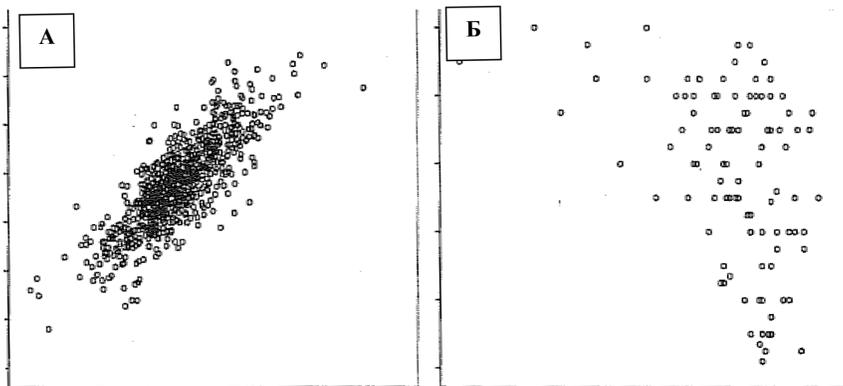


Рис. 153. Вид скаттерограммы при А) соблюдении и Б) не соблюдении условий линейности и гомоскедастичности

Параметрическая корреляция в программе SPSS

Составим базу по выше представленному примеру с применением программы SPSS (рис. 154).

	agresivnost	psychotism	
1	10	12	
2	9	10	
3	7	5	
4	8	6	
5	4	3	
6	6	5	
7	8	5	
8	3	2	
9	4	2	
10	3	3	
11	6	4	
12	5	4	
13	9	8	
14	8	8	
15	9	7	
16	9	8	
17	4	5	
18	5	5	
19	4	5	
20	5	4	
21	7	6	
22	6	5	

Рис. 154. База данных для корреляционного анализа Пирсона в программе SPSS

На рисунке 154 представлена база данных для применения корреляции Пирсона, где переменная *agresivnost* означает агрессивность, а переменная *psychotism* – психотизм. Алгоритм выбора критерия в программе SPSS: Analyze – Correlate – Bivariate... (рис. 155).

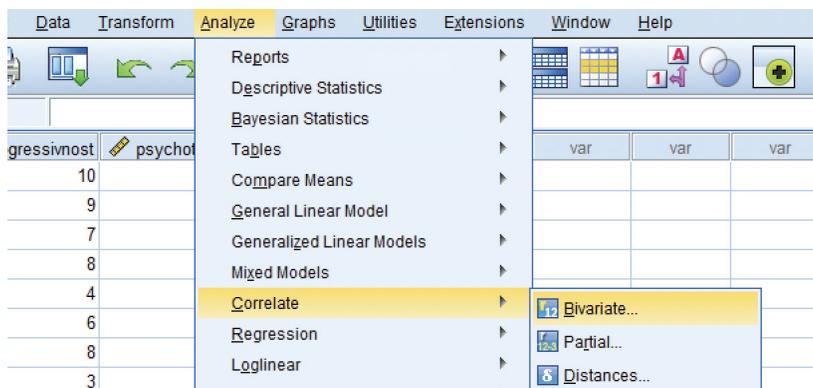


Рис. 155. Корреляционный анализ Пирсона в программе SPSS

Для того чтобы проверить, носит ли зависимость между переменными линейный характер и гомоскедастичность, нужно построить график разброса (скаттерограмму) в программе SPSS: Graphs – Legacy Dialogs – Scatter/Dot (рис. 156).

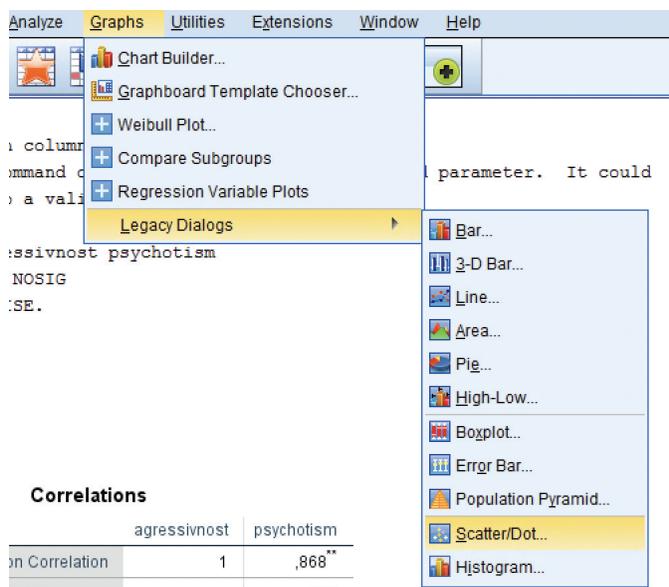


Рис. 156. График разброса в программе SPSS

По умолчанию стоит скаттерграмма, поэтому необходимо нажать Define, что означает «установить» (рис. 157).

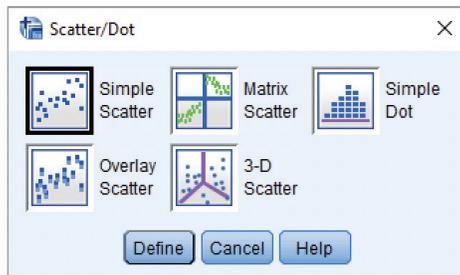


Рис. 157. Выбор графика разброса в программе SPSS

Необходимо определить и с помощью стрелочки переместить переменные в ячейки для оси Y и X; например, переменная агрессивность будет осью Y, а психотизм – X. Затем нажимаем ОК (рис. 158).

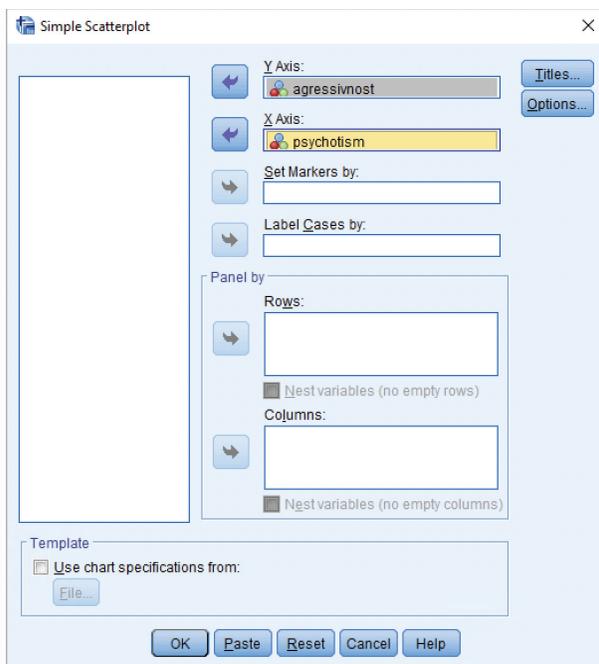


Рис. 158. Построение графика разброса в программе SPSS

На рисунке 158 представлен результат графика разброса для переменных агрессивность (agresivnost) и психотизм (psychotism).

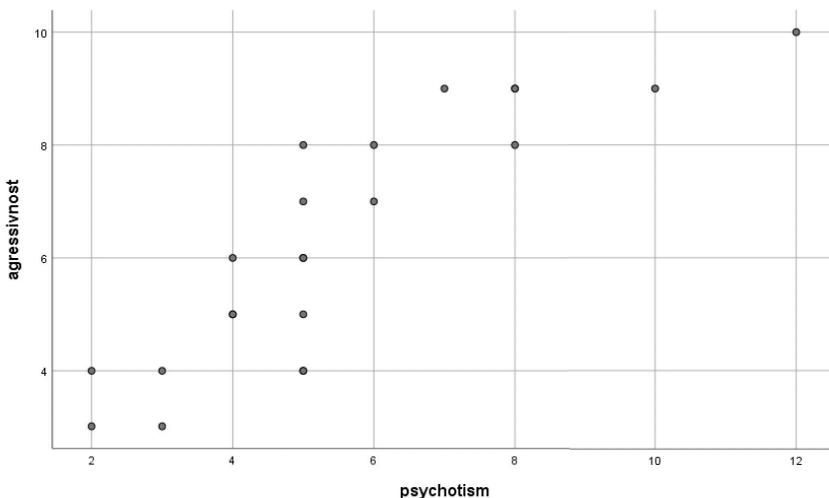


Рис. 158. Результат построения графика разброса в программе SPSS

При нарастании переменной X (психотизм) происходит нарастание переменной Y (агрессивность); причем индивидуальные значения, представленные точками, находятся относительно близко друг к другу. Поэтому делаем вывод о том, что зависимость между переменными имеет линейный характер. Условие гомоскедастичности нарушено, если индивидуальные значения, представленные точками, сгруппированы в треугольник или трапецию. Исходя из представленного примера, можно сделать вывод, что данное условие выполняется, поэтому применение корреляции Пирсона допустимо (рис. 159).

		agressivnost	psychotism
agressivnost	Pearson Correlation	1	,868**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	22	22
psychotism	Pearson Correlation	,868**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	22	22

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Рис. 159. Результат корреляционного анализа в программе SPSS

Таблица Correlations содержит информацию о коэффициенте корреляции (Pearson Correlation), уровне статистической значимости (Sig (2-tailed)) и количестве наблюдений (N). Первое, что необходимо оценить, статистически значимая корреляционная взаимосвязь или нет. Так как p-уровень меньше 0,05 (0,000), то делаем вывод о том, что взаимосвязь статистически значимая. Далее оцениваем коэффициент корреляции – $r_p = 0,868$ – положительная (так как со знаком плюс) и сильная. Таким образом, чем выше показатель психотизм, тем выше показатель агрессивность.

Параметрическая корреляция в программе STATA

Составим базу по выше представленному примеру с применением программы STATA (рис. 160).

	agressivnost	psychotism
1	10	12
2	9	10
3	7	5
4	8	6
5	4	3
6	6	5
7	8	5
8	3	2
9	4	2
10	3	3
11	6	4
12	5	4
13	9	8
14	8	8
15	9	7
16	9	8
17	4	5
18	5	5
19	4	5
20	5	4
21	7	6
22	6	5

Рис. 160. База данных для корреляционного анализа Пирсона в программе STATA

На рисунке 160 представлена база данных для применения корреляции Пирсона, где переменная *agressivnost* означает агрессивность, а переменная *psychotism* – психотизм. Сначала проверим условия для применения линейной корреляции Пирсона – линейный характер взаимосвязи и гомоскедастичность. Для этого построим график разброса: Graphics – Tway graph (scatter, line, etc.) (рис. 161).

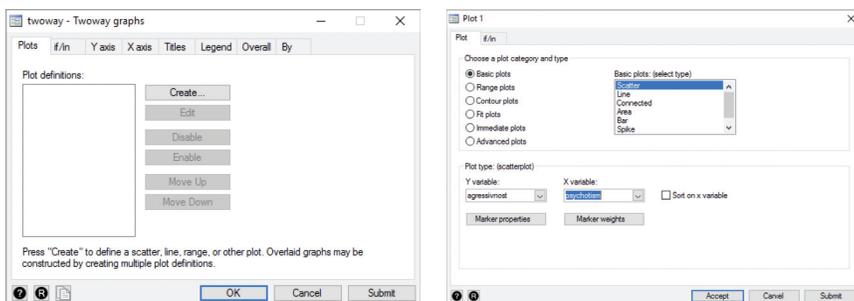


Рис. 161. График разброса в программе STATA

Необходимо создать скаттерограмму, нажав Create... Далее откроется окно, где необходимо внести соответствующие переменные. Скаттерограмма (Scatter) стоит по умолчанию; выбираем в окошке Y variable переменную агрессивность, в окошке X variable – переменную психотизм. Нажимаем Ассерт (рис. 162).

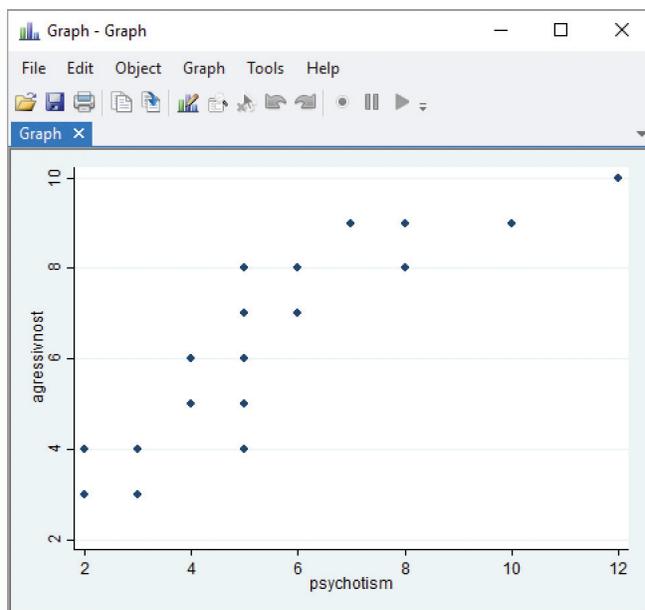


Рис. 162. Результат построения графика разброса в программе STATA

На рисунке 162 мы видим, что при нарастании переменной X (психотизм) происходит нарастание переменной Y (агрессивность); причем индивидуальные значения, представленные точками, находятся относительно близко друг к другу. Поэтому делаем вывод о том, что зависимость между переменными имеет линейный характер. Условие гомоскедастичности не нарушено, так как индивидуальные значения, представленные точками, не сгруппированы в треугольник или трапецию. Делаем вывод о том, что применение корреляции Пирсона допустимо.

Алгоритм выбора критерия в программе STATA: Statistics – Summaries, tables, and tests – Summary and descriptive statistics – Pairwise correlations (рис. 163).

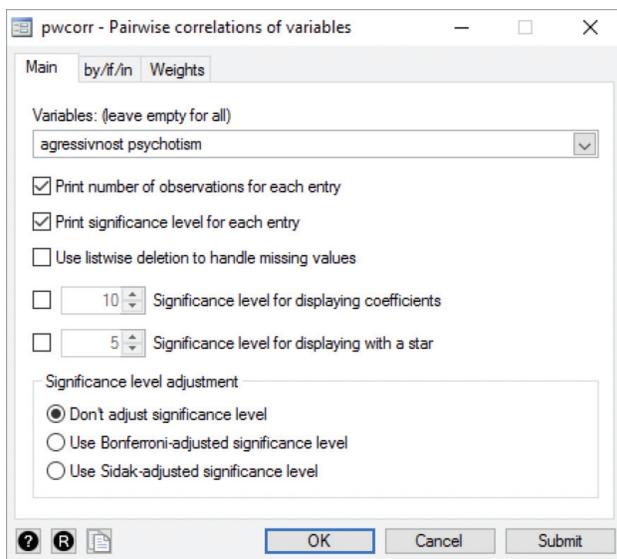


Рис. 163. Корреляционный анализ Пирсона в программе STATA

В окошке Variables с помощью стрелки справа находим переменные агрессивность (agressivnost) и психотизм (psychotism). Если поставить галочку Print number of observations for each entry, то будет продемонстрировано абсолютное число наблюдений, Print significance level for each entry – p-уровень. Нажимаем ОК. Результат представлен на рис. 164.

	agress~t psycho~m	
agressivnost	1.0000	
	22	
psychotism	0.8684	1.0000
	0.0000	
	22	22

Рис. 164. Результат применения корреляционного анализа Пирсона в программе STATA

Так как нас интересует взаимосвязь между переменными агрессивность и психотизм, то оценивать полученный результат будем по нижнему левому квадрату. Первая цифра (0.8684) – это коэффициент корреляции Пирсона, вторая (0.0000) – р-уровень, а третья (22) – количество наблюдений. Таким образом, можно сделать вывод о том, что есть статистически значимая, положительная и сильная корреляционная взаимосвязь. То есть, чем больше показатель психотизм, тем больше показатель агрессивность.

Непараметрическая корреляция

Корреляция Спирмена и корреляция Кендалла являются непараметрическими статистическими критериями, поэтому они применяются в ситуации, когда признак имеет ненормальное распределение; и называются ранговыми корреляциями. Корреляция Спирмена используется чаще, чем корреляция Кендалла. Корреляция Кендалла наиболее предпочтительнее, когда набор данных небольшой, но с большим количеством одинаковых рангов.

Условия:

– переменная X и Y количественные, не подчиняющиеся закону нормального распределения, или качественные порядковые (порядков не менее 5).

Например, изучалась взаимосвязь между количеством выкуриваемых сигарет за сутки и показателем депрессивность. Можно ли утверждать, что чем выше показатель депрессивность, тем больше выкуривает человек сигарет за сутки?

H_0 – нет взаимосвязи между показателем депрессивность и количеством выкуриваемых сигарет за сутки ($p > 0,05$)

H_1 – есть взаимосвязь между показателем депрессивность и количеством выкуриваемых сигарет за сутки ($p \leq 0,05$).

Непараметрическая корреляция в программе SPSS

Составим базу по выше представленному примеру с применением программы SPSS (рис. 165).

	 cigarette	 depression
1	5	23
2	10	43
3	12	40
4	22	56
5	25	45
6	22	55
7	10	34
8	7	32
9	5	20
10	10	27
11	6	29
12	9	30
13	10	33
14	10	36
15	5	25
16	6	22
17	15	39
18		

Рис. 165. База данных для корреляционного анализа Спирмена и Кендала в программе SPSS

На рисунке 165 представлена база данных для применения корреляции Спирмена и Кендалла, где переменная cigarette означает количество выкуриваемых сигарет за сутки, а переменная depression – депрессивность. Алгоритм выбора критерия в программе SPSS: Analyze – Correlate – Bivariate... (рис. 166А).

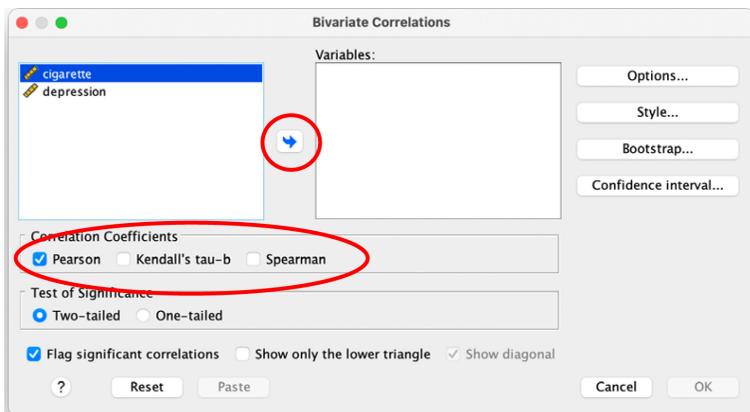


Рис. 166А. Корреляционный анализ Спирмена и Кенделла в программе SPSS

С помощью стрелки перекидываем переменные *cigarette* и *depression* в окошко *Variables*. Под окошками внизу выбираем нужный статистический критерий, например, корреляцию Кенделла (Kendall's tau-b) и Спирмена (Spearman) (рис. 166Б).

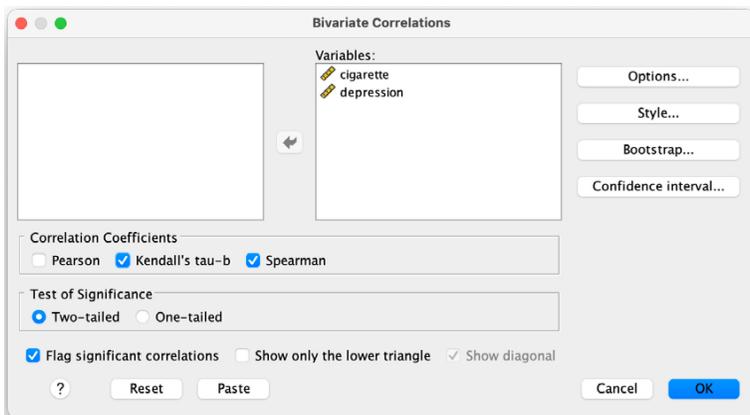


Рис. 166Б. Корреляционный анализ Спирмена и Кенделла в программе SPSS

Полученный результат представлен на рисунке 167.

Correlations

			cigarette	depression
Kendall's tau_b	cigarette	Correlation Coefficient	1,000	,772**
		Sig. (2-tailed)	.	<,001
		N	17	17
	depression	Correlation Coefficient	,772**	1,000
		Sig. (2-tailed)	<,001	.
		N	17	17
Spearman's rho	cigarette	Correlation Coefficient	1,000	,910**
		Sig. (2-tailed)	.	<,001
		N	17	17
	depression	Correlation Coefficient	,910**	1,000
		Sig. (2-tailed)	<,001	.
		N	17	17

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Рис. 167. Результат применения корреляционного анализа Спирмена и Кендалла в программе SPSS

Таблица Correlations содержит информацию о коэффициенте корреляции (Correlation Coefficient), уровне статистической значимости (Sig (2-tailed)) и количестве наблюдений (N). Первое, что необходимо оценить, статистически значимая корреляционная взаимосвязь или нет. Так как р-уровень меньше 0,05 (<0,001), то делаем вывод о том, что взаимосвязь статистически значимая. Далее оцениваем коэффициент корреляции – $r_s = 0,910$ и $r_k = 0,772$. Он положительный (так как со знаком плюс) и сильный. Таким образом, чем выше показатель депрессивность, тем больше выкуривает человек сигарет за сутки.

Непараметрическая корреляция в программе STATA

Составим базу по выше представленному примеру с применением программы STATA (рис. 168).

cigarette[1]		10
	cigarette	depression
1	10	43
2	12	40
3	22	56
4	25	45
5	22	55
6	10	34
7	7	32
8	5	20
9	10	27
10	6	29
11	9	30
12	10	33
13	10	36
14	5	25
15	6	22
16	15	39

Рис. 168. База данных для корреляционного анализа Спирмена и Кендалла в программе STATA

На рисунке 168 представлена база данных для применения корреляции Спирмена и Кендалла, где переменная *cigarette* означает количество выкуриваемых сигарет за сутки, а переменная *depression* – депрессивность.

Алгоритм выбора статистического критерия в программе STATA представлен на рисунке 169.

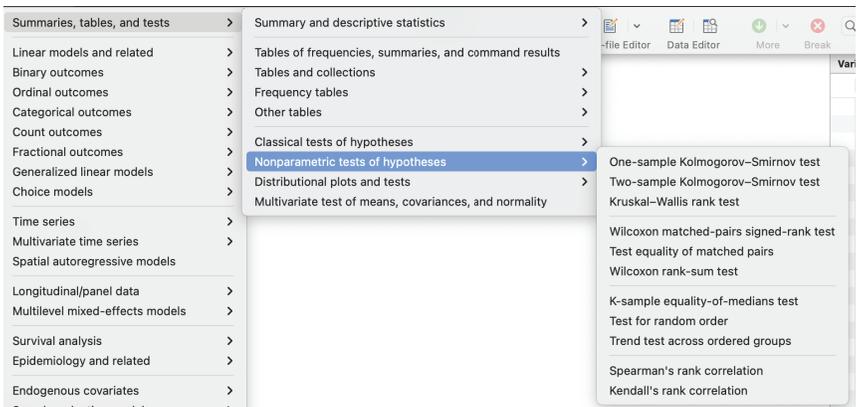
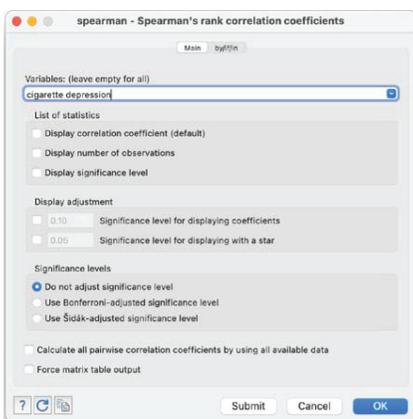
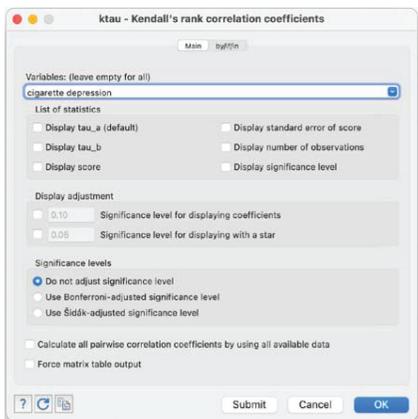


Рис. 169. Алгоритм выбора корреляции Спирмена и Кендалла в программе STATA

Spearman's rank correlation – ранговая корреляция Спирмена, а Kendall's rank correlation – ранговая корреляция Кендалла (рис. 170).



Корреляция Спирмена



Корреляция Кендалла

Рис. 170. Корреляция Спирмена и Кендалла в программе STATA

В окошке Variables выбираются необходимые переменные, например, количество выкуриваемых сигарет (cigarette) и депрессив-

ность (depression). Результат применения представлен на рисунке 171 и 172.

```
. spearman cigarette depression

Number of obs =      16
Spearman's rho =     0.9036

Test of H0: cigarette and depression are independent
Prob > |t| =         0.0000
```

Рис. 171. Результат применения корреляции Спирмена в программе STATA

Number of obs – количество наблюдений, Spearman's rho – коэффициент корреляции Спирмена, а Prob>|t| – уровень статистической значимости. Таким образом, мы делаем вывод о статистически значимой, положительной и сильной корреляционной взаимосвязи.

```
. ktau cigarette depression

Number of obs =      16
Kendall's tau-a =     0.7250
Kendall's tau-b =     0.7678
Kendall's score =     87
SE of score =     21.764 (corrected for ties)

Test of H0: cigarette and depression are independent
Prob > |z| =         0.0001 (continuity corrected)
```

Рис. 172. Результат применения корреляции Кендалла в программе STATA

Number of obs – количество наблюдений, Kendall's tau-b – коэффициент корреляции Кендалла, а Prob>|t| – уровень статистической значимости. Таким образом, мы делаем вывод о статистически значимой, положительной и сильной корреляционной взаимосвязи.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Гржибовский А.М. Анализ количественных данных для двух независимых групп. *Экология человека*. – 2008. – №2. – С.54-61.
2. Гржибовский А.М. Анализ номинальных данных. *Экология человека*. – 2008. – №6. – С.58-68.
3. Гржибовский А.М. Анализ порядковых данных. *Экология человека*. – 2008. – №8. – С.56-62.
4. Гржибовский А.М. Анализ трех и более независимых групп количественных данных. *Экология человека*. – 2008. – №3. – С.50-58.
5. Гржибовский А.М. Доверительные интервалы для частей и долей. *Экология человека*. – 2008. – №5. – С.57-60.
6. Гржибовский А.М. Корреляционный анализ. *Экология человека*. – 2008. – №9. – С.50-60.
7. Гржибовский А.М. Одномерный анализ повторных измерений. *Экология человека*. – 2008. – №4. – С.51-60.
8. Гржибовский А.М. Типы данных, проверка распределения и описательная статистика. *Экология человека*. – 2008. – №1. – С.52-58.
9. Субботина А.В., Гржибовский А.М. Одномерный дисперсионный анализ повторных наблюдений с использованием пакета статистических программ STATA. *Экология человека*. – 2014. – №11. – С.61-64
10. Унгуряну Т.Н., Гржибовский А.М. Однофакторный дисперсионный анализ с использованием пакета статистических программ STATA. *Экология человека*. – 2014. – №5. – С.60-65.
11. Унгуряну Т.Н., Гржибовский А.М. Программное обеспечение для статистической обработки данных STATA: введение. *Экология человека*. – 2014. – №1. – С.60-63.
12. Унгуряну Т.Н., Гржибовский А.М. Сравнение трех и более независимых групп с использованием непараметрического критерия Краскела-Уоллиса в программе STATA. *Экология человека*. – 2014. – №6. – С.55-58.
13. Харьковская О.А., Гржибовский А.М. Сравнение двух независимых выборок с использованием пакета статистических программ STATA: непараметрические критерии. *Экология человека*. – 2014. – №4. – С.60-64.

14. Харькова О.А., Гржибовский А.М. Сравнение одной и двух несвязанных выборок с помощью пакета статистических программ STATA: параметрические критерии. *Экология человека*. – 2014. – №3. – С.57-61

15. Харькова О.А., Соловьев А.Г. Статистические методы и математическое моделирование. Архангельск: Изд.центр СГМУ, 2017. – 177с.

16. Field A. *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*, 4th Edition. Publisher: SAGE Publications Ltd, 2013. – 915p.

17. Suul S., Frydenberg M. *An Introduction to Stata for Health Researchers*, 4th Edition. Publisher: Stata Press, 2014. – 346p.

Учебное издание

Харькова Ольга Александровна

ДОКАЗАТЕЛЬНАЯ ПСИХОЛОГИЯ

Учебное пособие

Издано в авторской редакции

Компьютерная верстка *Г.Е. Волковой*

Подписано в печать 28.10.2022.

Формат 60×84^{1/16}. Бумага офсетная.

Гарнитура Times New Roman. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 10,0. Уч.-изд. л. 3,3.

Тираж 100 экз. Заказ № 2495

ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет»

163069, г. Архангельск, пр. Троицкий, 51

Телефон (8182) 20-61-90. E-mail: izdatelnsmu@yandex.ru