

## Naudoti metodai

Darbas atliktas naudojant R, SAS ir Python.

Naudoti R paketai:

*tidyverse* – duomenų nuskaitymas, sutvarkymas, *ggplot2* paketas grafikams.

*faux* – daugiamačių koreliuotų normaliųjų atsitiktinių dydžių generavimas.

*agricolae* – automatinis grupių radimas atliekant porinių kontrastų palyginimus.

*car* – Type III tipo kvadratų sumos.

Naudoti Python paketai:

*pandas*

*seaborn*

*numpy*

*matplotlib*

*scipy.stats*

*statsmodels*

*bioinfokit*

## Pasirinktas mokslinis straipsnis

### Straipsnio autoriai

Jeannie Judge, John Striling

### Straipsnio pavadinimas

„Fine motor skill performance in left- and right-handers: Evidence of an advantage for left-handers“

### Žurnalo pavadinimas

„Laterality“

### Tomas

8

### Metai

2003

### Interneto nuoroda

<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/13576500342000022a?needAccess=true>

### Tyrimo tikslas

Patikrinti ar egzistuoja ryšys tarp rankos pirmenybės ir smulkiosios motorikos įgūdžių.

### Uždaviniai

Patikrinti ar kaištukų lentos testo (Purdue Pegboard Test) rezultatai susiję su rankos pirmenybe. Prognozuoti rankos pirmenybę naudojant kaištukų lentos testo rezultatus.

### Straipsnyje atliktos analizės aprašymas

Eksperimente dalyvavo 44 asmenys (20 vyrų, 24 moterys iš jų po 22 kairiarankius ir dešiniarankius).

Atlikti keturi skirtingi testai:

- Kaištukų sukaišiojimas į specialią kaištukų lentą per 30 sekundžių naudojant ranką, kuria naudojamasi daugiau.
- Kaištukų sukaišiojimas naudojant kitą ranką.
- Kaištukų sukaišiojimas naudojant abi rankas.
- Konstrukcijų, sudarytų iš trijų dalių sukonstravimas per 60 sekundžių.

Straipsnyje kiekvienam iš keturių testų naudota dvifaktorinė fiksuotų faktorių dispersinė analizė nepriklausomais kintamaisiais naudojant lytį ir ranką, kuria naudojamasi daugiau. Tiek faktorių, tiek jų tarpusavio sąveikos įtakos nebuvo statistiškai reikšmingos.

Ketvirto testo rezultatuose rastos 4 išskirtys, todėl duomenys transformuoti pakeičiant daugiau nei 1.5 standartinių nuokrypių nuo vidurkio nutolusius duomenis lyginama reikšme ir atliekant kvadratinės šaknies transformaciją. Atlikus dispersinę analizę transformuotiems duomenims rasta statistiškai reikšminga rankos įtaka  $F(1,40) = 5.285$ ,  $p = 0.027$ .

# Atliktos analizės aprašymas

## 1. Naudojant R

```
library(tidyverse)
library(faux)
library(readr)
library(car)
library(agricolae)

# Duomenų simuliacija

# Naudojamos straipsnyje aprašytos charakteristikos
mu_l <- c(13.82, 13.59, 10.55, 25.64)
sigma_l <- c(2.15, 1.68, 1.57, 5.18)

mu_r <- c(14.09, 13.09, 10.41, 22.68)
sigma_r <- c(1.72, 1.87, 2.17, 4.60)

construct_df <- function(hand, mean, sd) {
  pmap(list(rnorm_multi(22, 4, mean, sd, r = 0.5), sd, mean), wanted_mean_sd) %>%
    set_names("t1", "t2", "t3", "t4") %>%
    as_tibble() %>%
    mutate(handedness = hand)
}

wanted_mean_sd <- function(x, sd, mean) {
  (x - mean(x)) / sd(x) * sd + mean
}

df_right <- construct_df("right", mu_r, sigma_r)
biggest <- sort(df_right$t4, decreasing = TRUE)[1:4]
for (i in biggest) {
  df_right$t4[which(df_right$t4 == i)] <- df_right$t4[which(df_right$t4 == i)] + abs(rnorm(1,
6))
}
t4 <- df_right$t4
df_right$t4 <- (t4 - mean(t4)) / sd(t4) * 4.60 + 22.68

df <- rbind(construct_df("left", mu_l, sigma_l), df_right)

df <- df %>%
  mutate(
    age = rnorm(44, 17.32, 1.07),
    sex = sample(c(rep("male", 20), rep("female", 24)), 44)
  )
```

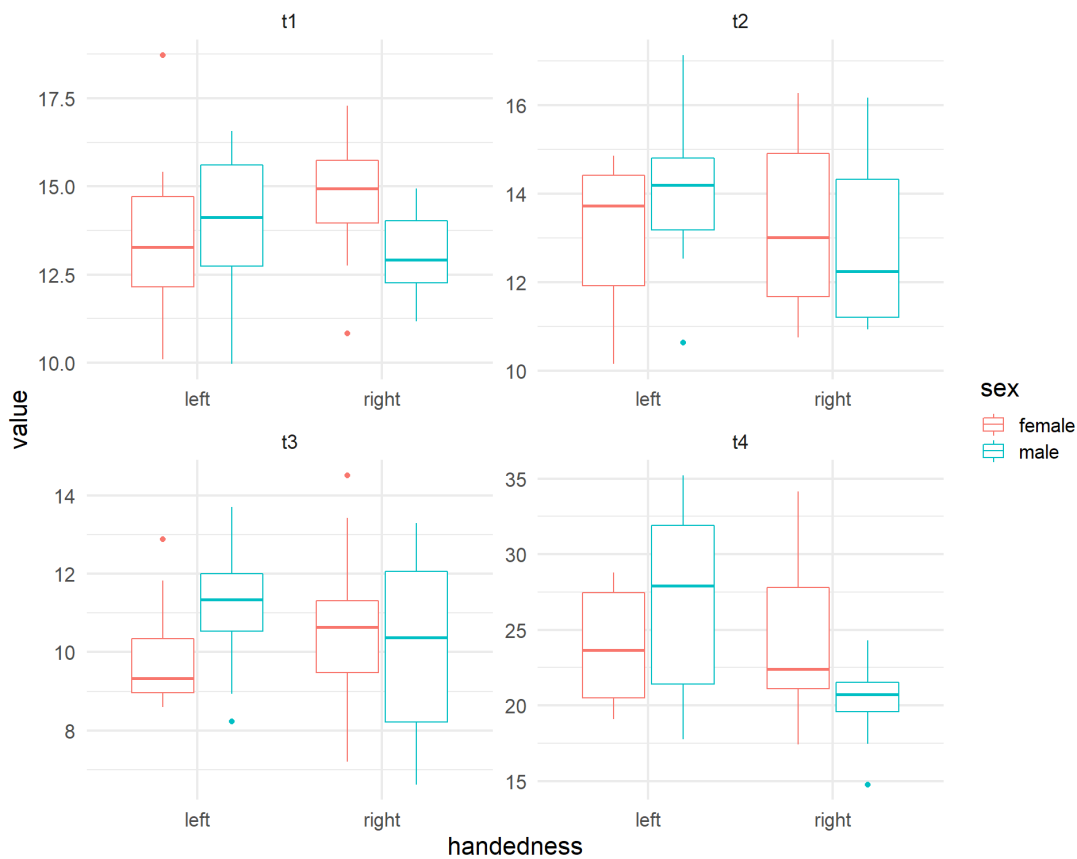
Simuliuoti duomenys išsaugoti ir pateikti data.csv faile.

```
df <- read_csv("data.csv")
options(contrasts = c("contr.sum", "contr.poly"))

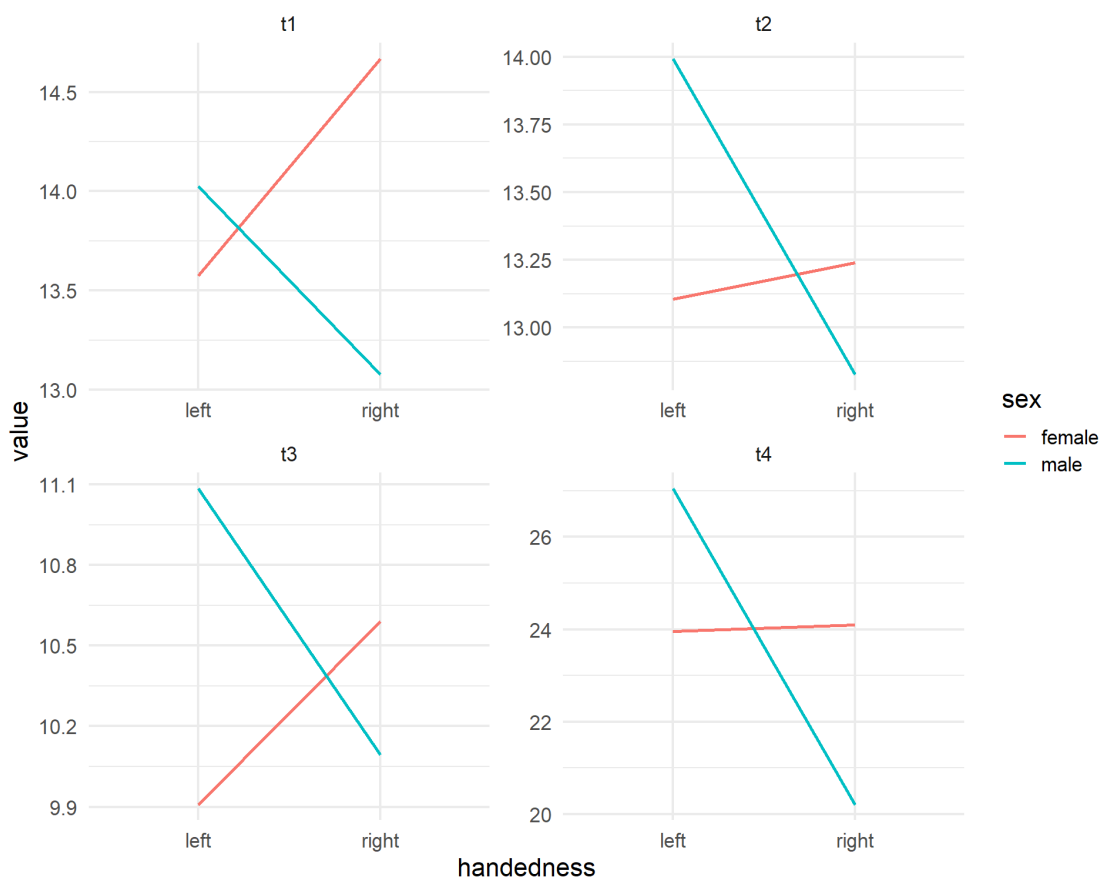
variance_check <- function(x) {
  eval(substitute(levTest(x ~ handedness * sex, data = df)))
}

anova_model <- function(x) {
  eval(substitute(aov(x ~ handedness * sex, data = df)))
}
```

```
# Tiriameji grafikai
df_pivoted <- df %>% pivot_longer(1:4)
ggplot(df_pivoted, aes(handedness, value, color = sex)) +
  geom_boxplot() +
  theme_minimal(base_size = 16) +
  facet_wrap(vars(name), scales = "free")
```



```
# Vidurkių grafikas
ggplot(df_pivoted, aes(handedness, value, color = sex, group = sex)) +
  stat_summary(fun = "mean", geom = "line", size = 1) +
  theme_minimal(base_size = 16) +
  facet_wrap(vars(name), scales = "free")
```



```
# Dispersijų lygybės testas
variance_checks <- list(variance_check(t1), variance_check(t2), variance_check(t3), variance_check(t4))

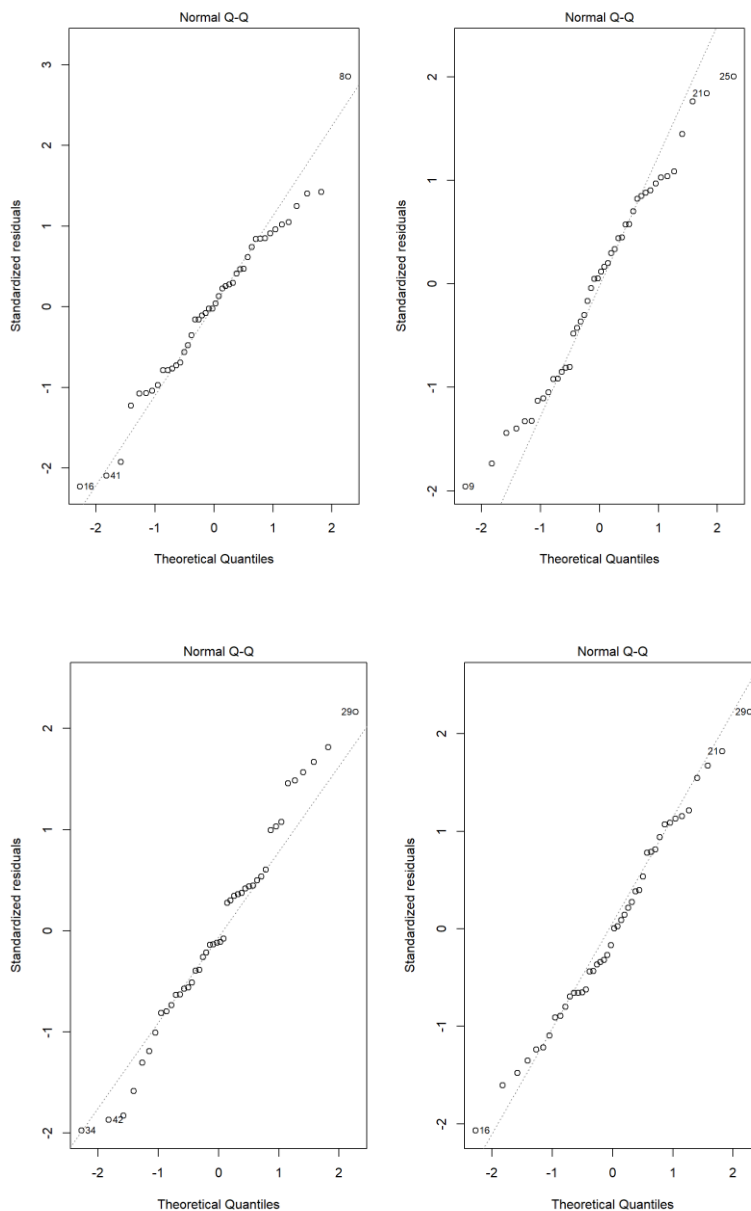
variance_checks

## [[1]]
## Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
##      Df F value Pr(>F)
## group 3  0.8848 0.4572
##      40
##
## [[2]]
## Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
##      Df F value Pr(>F)
## group 3  0.4793 0.6985
##      40
##
## [[3]]
## Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
##      Df F value Pr(>F)
## group 3  1.7389 0.1745
##      40
##
## [[4]]
## Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
##      Df F value Pr(>F)
## group 3  1.8124 0.1604
##      40
```

Hipotezė apie dispersijų lygybę neatmetama nė viename teste.

```
# Sukuriami dispersinės analizės modeliai kiekvienam testui
models <- list(anova_model(t1), anova_model(t2), anova_model(t3), anova_model(t4))

# Tikrinamas liekanų normalumas (dispersinės analizės prielaida)
op <- par(mfrow = c(1, 2))
map(models, ~ plot(.x, which = 2))
```



Liekanos visiems testams stipriai nesiskiria nuo normalumo.

```
# Nesubalansuotas eksperimento planas -> naudojamos Type III kv. sumos
map(models, ~ Anova(.x, type = "III"))
## [[1]]
## Anova Table (Type III tests)
##
## Response: t1
```

```
##               Sum Sq Df    F value  Pr(>F)
## (Intercept)    8065.8  1 2221.9073 < 2e-16 ***
## handedness      0.1  1    0.0156 0.90108
## sex            3.4  1    0.9457 0.33665
## handedness:sex  11.0  1    3.0212 0.08988 .
## Residuals      145.2 40
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## [[2]]
## Anova Table (Type III tests)
##
## Response: t2
##               Sum Sq Df    F value  Pr(>F)
## (Intercept)    7443.3  1 2334.5324 <2e-16 ***
## handedness      2.8  1    0.8795 0.3540
## sex            0.6  1    0.1862 0.6684
## handedness:sex  4.5  1    1.3986 0.2439
## Residuals      127.5 40
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## [[3]]
## Anova Table (Type III tests)
##
## Response: t3
##               Sum Sq Df    F value  Pr(>F)
## (Intercept)    4574.0  1 1289.7625 <2e-16 ***
## handedness      0.3  1    0.0706 0.7918
## sex            1.2  1    0.3433 0.5612
## handedness:sex  7.4  1    2.0750 0.1575
## Residuals      141.9 40
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## [[4]]
## Anova Table (Type III tests)
##
## Response: t4
##               Sum Sq Df    F value  Pr(>F)
## (Intercept)   23915.5  1 1088.1923 < 2e-16 ***
## handedness    118.1  1    5.3749 0.02562 *
## sex           1.7  1    0.0752 0.78531
## handedness:sex 127.9  1    5.8217 0.02050 *
## Residuals      879.1 40
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Kiekvienam iš 4 testų atskirai atlikta dvifaktorisė dispersinė analizė su fiksuotais faktoriais pasirenkant ranką ir lytį kaip nepriklausomus kintamuosius. Ketvirtame teste rastos statistiškai reikšmingos rankos  $F(1,40) = 5.37$ ,  $p = 0.025$  ir rankos/lyties sąveikos  $F(1,40) = 5.82$ ,  $p = 0.020$  įtakos. Kituose testuose statistiškai reikšmingos faktorių įtakos nerasta.

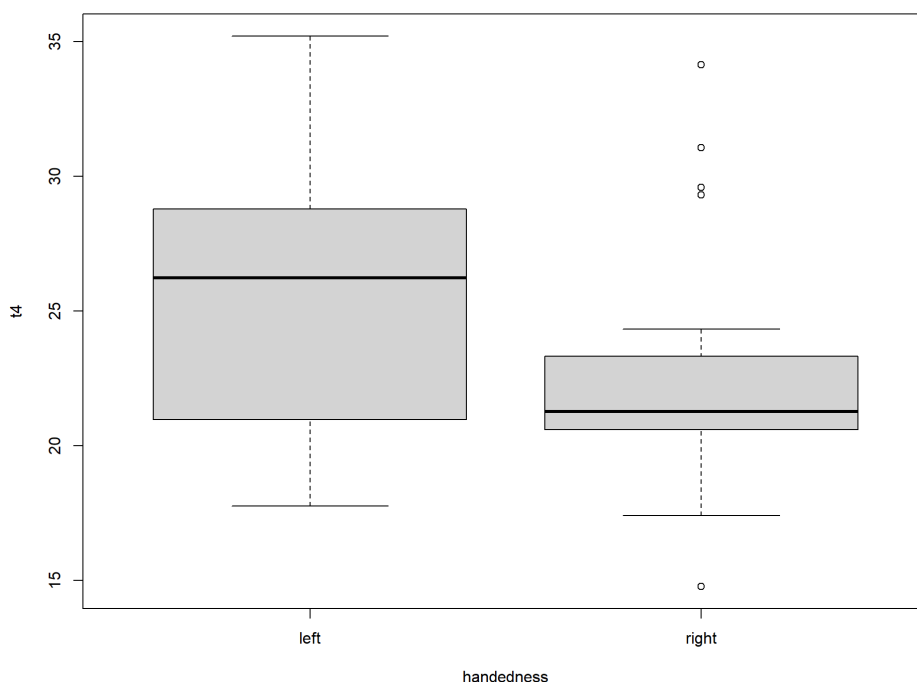
```
library(agricolae)
HSD.test(models[[4]], trt = c("handedness", "sex"), console = TRUE, unbalanced = TRUE)
```

```
##
## Study: models[[4]] ~ c("handedness", "sex")
##
## HSD Test for t4
##
## Mean Square Error: 21.97729
##
```

```
## handedness:sex, means
##
##           t4      std  r      Min      Max
## left:female 23.95501 3.705637 10 19.07796 28.78542
## left:male   27.04416 5.937883 12 17.76119 35.20957
## right:female 24.09143 4.873529 14 17.40837 34.13473
## right:male  20.21000 2.900647  8 14.77681 24.32336
##
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 40
## Critical Value of Studentized Range: 3.790685
##
## Groups according to probability of means differences and alpha level( 0.05 )
##
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##           t4 groups
## left:male   27.04416      a
## right:female 24.09143     ab
## left:female 23.95501     ab
## right:male  20.21000      b
```

Naudojantis porinių kontrastų analize ketvirtam testui rastas statistiškai reikšmingas skirtumas tarp kairiarankių ir dešiniarankių vyrų.

```
boxplot(t4 ~ handedness, data = df)
```



Ketvirto testo duomenyse tarp dešiniarankių rastos keturios išskirtys. Šio testo duomenys transformuoti taip, kaip tai atlikta straipsnyje. Dispersinė analizė atliekama pakartotinai.

```
# Duomenų transformacija
df2 <- df
t4 <- df$t4
limit <- mean(t4[df$handedness=="right"])+ 1.5*sd(t4[df$handedness=="right"])
df2$t4 <- sqrt(ifelse(t4>limit,limit,t4))
```



```
model_trans <- aov(t4 ~ handedness * sex, df2)
Anova(model_trans, type = "III")
```

```
## [[1]]
## Anova Table (Type III tests)
##
## Response: t4
##          Sum Sq Df    F value    Pr(>F)
## (Intercept)  977.83  1 5923.2061 < 2e-16 ***
## handedness     0.96  1   5.8408 0.02031 *
## sex           0.09  1   0.5601 0.45858
## handedness:sex  0.76  1   4.6264 0.03758 *
## Residuals     6.60 40
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

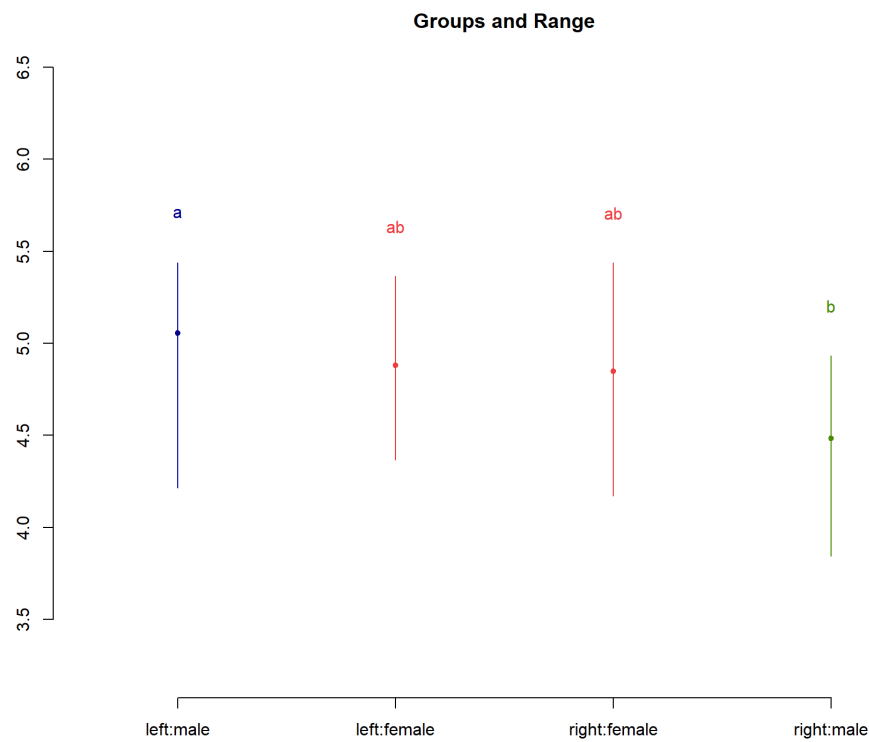
Dispersine transformuotų duomenų analize gauti tie patys statistiškai reikšmingi rezultatai kaip prieš transformaciją: statistiškai reikšmingos rankos  $F(1,40) = 5.84$ ,  $p = 0.020$  ir rankos/lyties sąveikos  $F(1,40) = 4.62$ ,  $p = 0.037$  įtakos. Kairiarankių vyrų rezultatai statistiškai reikšmingai geresni už dešiniarankių vyrų (Tjukio metodu  $\alpha=0.05$  ).

```
pairwise_test <- HSD.test(model_trans, trt = c("handedness", "sex"), console = TRUE, unbalance
d = TRUE)
pairwise_test
```

```
##
## Study: model_trans ~ c("handedness", "sex")
##
## HSD Test for t4
##
## Mean Square Error:  0.165085
##
## handedness:sex, means
##
##          t4          std  r          Min          Max
## left:female  4.881060 0.3804443 10 4.367833 5.365205
## left:male    5.056641 0.4577357 12 4.214402 5.438750
## right:female 4.847775 0.4135532 14 4.172334 5.438750
## right:male   4.484798 0.3322381  8 3.844062 4.931872
##
## Alpha: 0.05 ; DF Error: 40
## Critical Value of Studentized Range: 3.790685
##
## Groups according to probability of means differences and alpha level( 0.05 )
##
## Treatments with the same letter are not significantly different.
##
##          t4 groups
## left:male    5.056641      a
## left:female  4.881060     ab
## right:female 4.847775     ab
## right:male   4.484798      b
```

```
Plot(pairwise_test)
```

Nubraižomas 95% pasiklivimo grafikas rankos/lyties sąveikos skirtingų lygmenų įtakai:



## 2. Naudojant SAS

```
PROC IMPORT DATAFILE='/home/u45871880/data.csv'  
    DBMS=CSV  
    OUT=data;  
    GETNAMES=YES;  
RUN;
```

```
PROC SORT data=data;  
    BY sex;  
RUN;
```

```
data colours;  
    length value FillColor LineColor $30;  
    Id='X'; Value="male"; FillColor='#799fcb'; LineColor='#799fcb'; output;  
    Id='X'; Value="female"; FillColor='#f9665e'; LineColor='#f9665e'; output;  
run;
```

```
/* Tiriamieji grafikai */  
%macro box;  
%do m=1 %to 4;
```

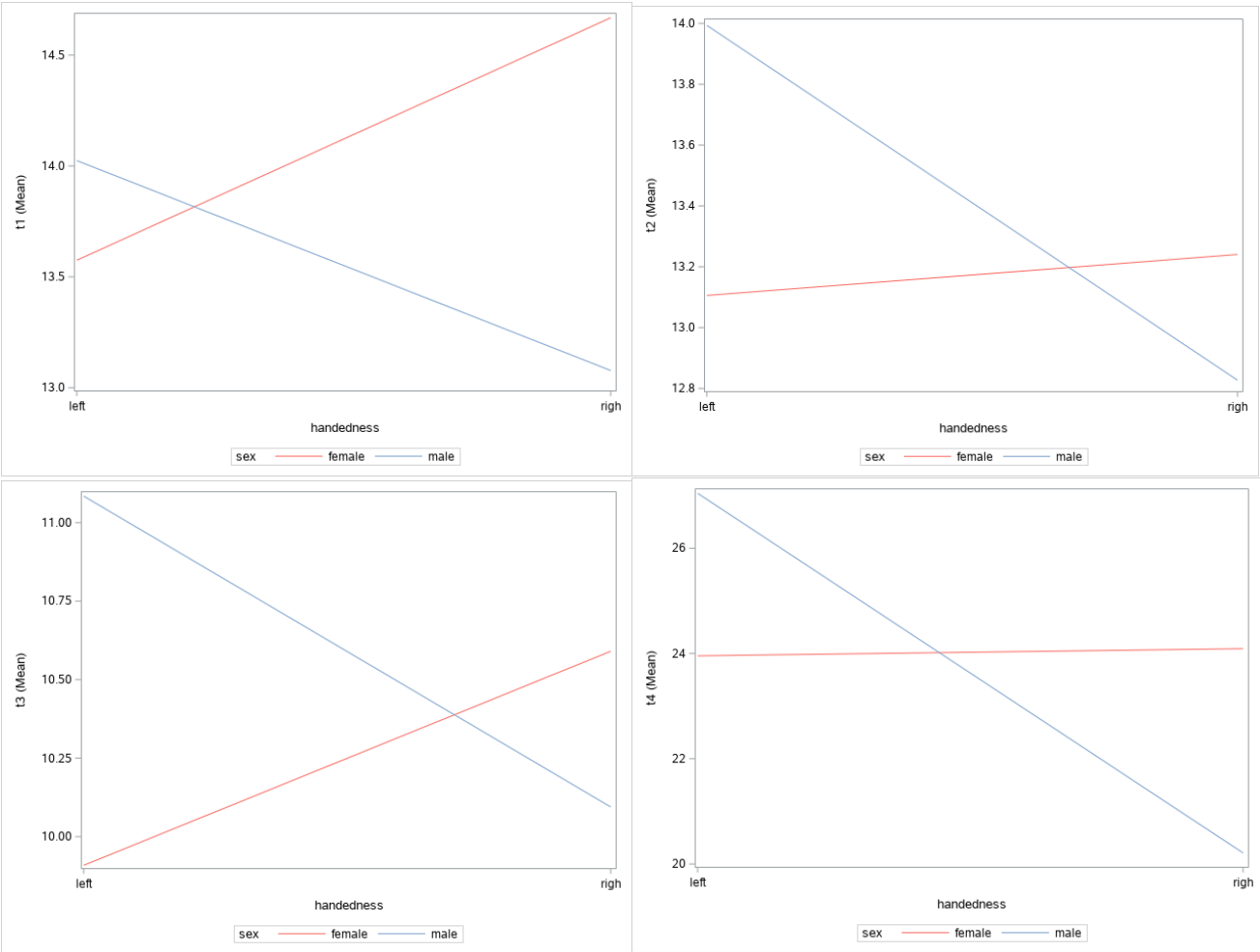
```
proc sgplot data=data dattmap=colours;  
vbox t&m/group=sex category=handedness attrid=X;
```

```
%end;  
%mend;  
%box;  
RUN;
```

```
/* Vidurkių grafikai */  
%macro box;  
%do m=1 %to 4;
```

```
proc sgplot data=data dattmap=colours;  
    vline handedness / response=t&m group=sex stat=mean attrid=X;  
run;
```

```
%end;  
%mend;  
%box;  
RUN;
```



```
/* Dispersiné analizé */
%macro box;
%do m=1 %to 4;

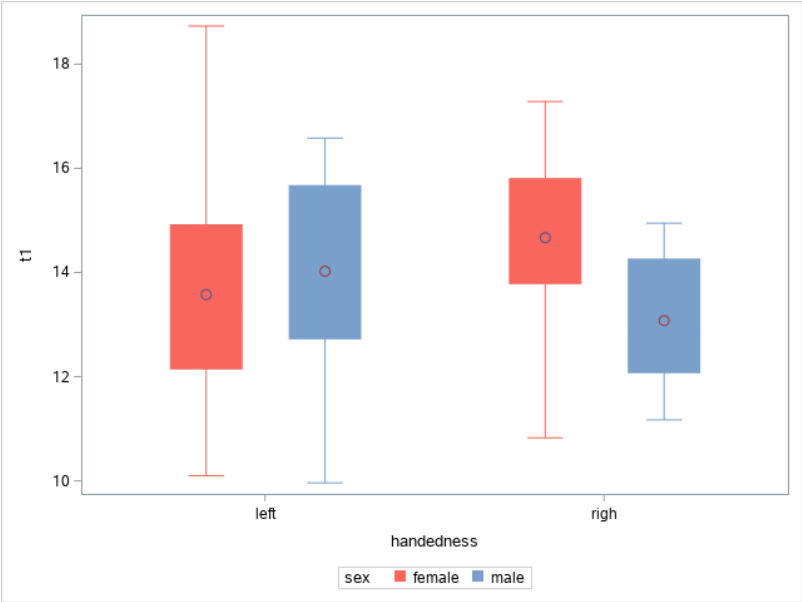
proc glm data = data plots=diagnostics;
class handedness sex;
model t&m = handedness sex handedness*sex;
lsmeans handedness*sex /adjust=TUKEY linestable plots=None;

%end;
%mend;
%box;
RUN;
```

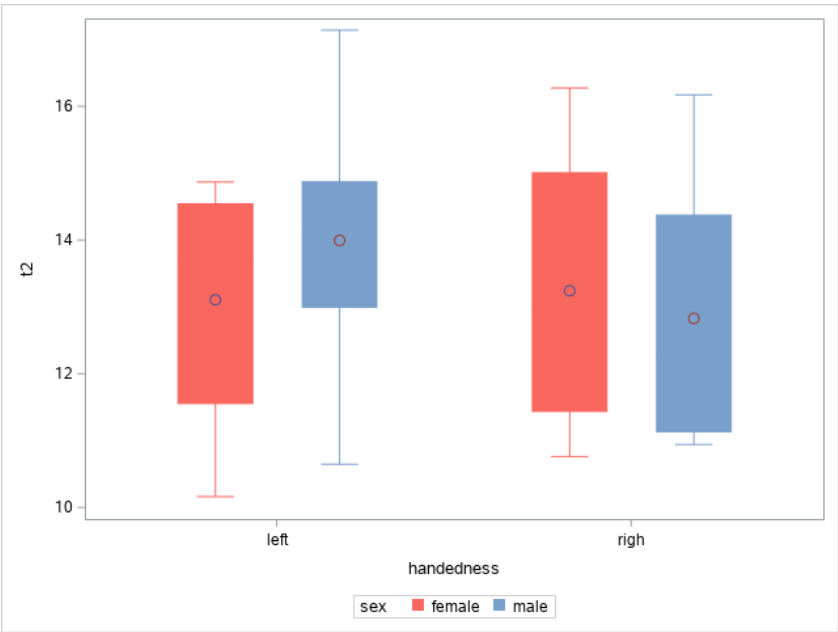
The GLM Procedure

| Class Level Information     |        |             |
|-----------------------------|--------|-------------|
| Class                       | Levels | Values      |
| handedness                  | 2      | left right  |
| sex                         | 2      | female male |
| Number of Observations Read |        | 44          |
| Number of Observations Used |        | 44          |

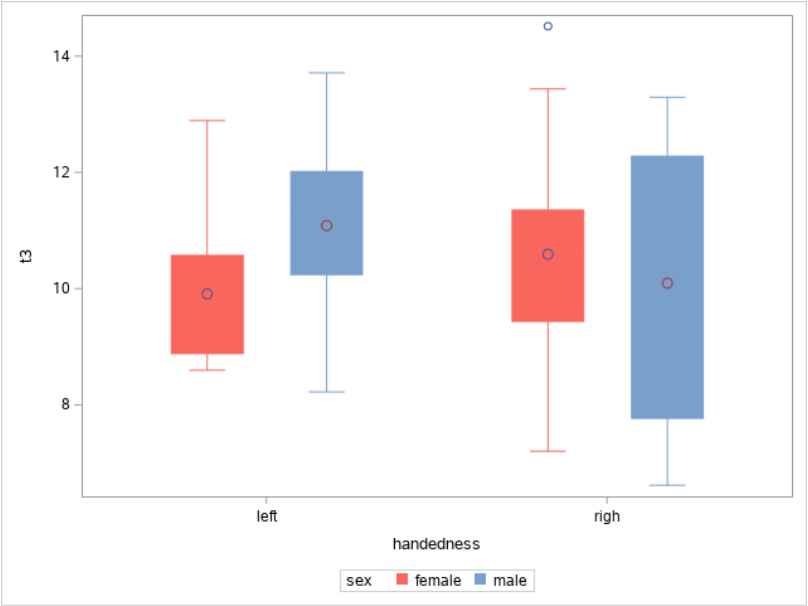
| Source         | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|----------------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| handedness     | 1  | 0.05679745  | 0.05679745  | 0.02    | 0.9011 |
| sex            | 1  | 3.43312163  | 3.43312163  | 0.95    | 0.3367 |
| handedness*sex | 1  | 10.96730369 | 10.96730369 | 3.02    | 0.0899 |



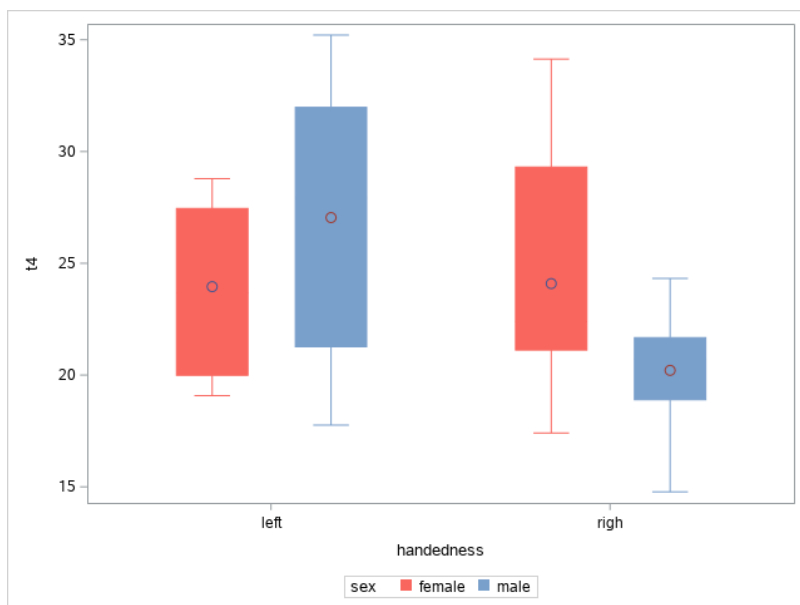
| Source         | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|----------------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| handedness     | 1  | 2.80425930  | 2.80425930  | 0.88    | 0.3540 |
| sex            | 1  | 0.59375922  | 0.59375922  | 0.19    | 0.6684 |
| handedness*sex | 1  | 4.45919765  | 4.45919765  | 1.40    | 0.2439 |



| Source         | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|----------------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| handedness     | 1  | 0.25036993  | 0.25036993  | 0.07    | 0.7918 |
| sex            | 1  | 1.21733123  | 1.21733123  | 0.34    | 0.5612 |
| handedness*sex | 1  | 7.35893993  | 7.35893993  | 2.08    | 0.1575 |



| Source         | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|----------------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| handedness     | 1  | 118.1258936 | 118.1258936 | 5.37    | 0.0256 |
| sex            | 1  | 1.6529039   | 1.6529039   | 0.08    | 0.7853 |
| handedness*sex | 1  | 127.9456061 | 127.9456061 | 5.82    | 0.0205 |



| Tukey-Kramer Grouping for LS-Means of handedness*sex           |    |          |            |        |               |
|--|----|----------|------------|--------|---------------|
| LS-means with the same letter are not significantly different. |    |          |            |        |               |
|  | t4 | LSMEAN   | handedness | sex    | LSMEAN Number |
|  | A  | 27.04416 | left       | male   | 2             |
|  | A  |          |            |        |               |
| B  | A  | 24.09143 | right      | female | 3             |
| B  | A  |          |            |        |               |
| B  | A  | 23.95501 | left       | female | 1             |
| B  |    |          |            |        |               |
| B  |    | 20.21000 | right      | male   | 4             |

Kaip ir naudojant R kiekvienam iš 4 testų atskirai atlikta dvifaktorisė dispersinė analizė su fiksuotais faktoriais pasirenkant ranką ir lytį kaip nepriklausomus kintamuosius. Ketvirtame teste rastos statistiškai reikšmingos rankos  $F(1,40) = 5.37$ ,  $p = 0.025$  ir rankos/lyties sąveikos  $F(1,40) = 5.82$ ,  $p = 0.020$  įtakos. Kituose testuose statistiškai reikšmingos faktorių įtakos nerasta.

Naudojantis porinių kontrastų analize ketvirtam testui rastas statistiškai reikšmingas skirtumas tarp kairiarankių ir dešiniarankių vyrų.

/\* Transformuoti duomenys \*/

```
PROC IMPORT DATAFILE='/home/u45871880/data2.csv'
  DBMS=CSV
  OUT=data2;
  GETNAMES=YES;
RUN;
```

```
proc glm data = data2 plots=diagnostics;
class handedness sex;
model t4 = handedness sex handedness*sex;
lsmeans handedness*sex /adjust=TUKEY linestable plots=None;
run;
```

| Source                | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| <b>handedness</b>     | 1  | 0.96423252  | 0.96423252  | 5.84    | 0.0203 |
| <b>sex</b>            | 1  | 0.09247206  | 0.09247206  | 0.56    | 0.4586 |
| <b>handedness*sex</b> | 1  | 0.76375261  | 0.76375261  | 4.63    | 0.0376 |

| Tukey-Kramer Grouping for LS-Means of handedness*sex           |           |            |        |               |
|--|-----------|------------|--------|---------------|
| LS-means with the same letter are not significantly different. |           |            |        |               |
|  | t4 LSMEAN | handedness | sex    | LSMEAN Number |
| A  | 27.04416  | left       | male   | 2             |
| A  |           |            |        |               |
| B A  | 24.09143  | right      | female | 3             |
| B A  |           |            |        |               |
| B A  | 23.95501  | left       | female | 1             |
| B  |           |            |        |               |
| B  | 20.21000  | right      | male   | 4             |

Gauti rezultatai sutampa su rezultatais gautais naudojant R: Dispersine transformuotų duomenų analize gauti tie patys statistiškai reikšmingi rezultatai kaip prieš transformaciją: statistiškai reikšmingos rankos  $F(1,40) = 5.84$ ,  $p = 0.020$  ir rankos/lyties sąveikos  $F(1,40) = 4.62$ ,  $p = 0.037$  įtakos. Kairiarankių vyrų rezultatai statistiškai reikšmingai geresni už dešiniarankių vyrų (Tjūkio metodu  $\alpha=0.05$ ).



### 3. Naudojant Python

```
import warnings
warnings.filterwarnings("ignore")
import pandas as pd
import seaborn as sns
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.stats import levene
import statsmodels.api as sm
from statsmodels.formula.api import ols
import pylab
import scipy.stats as stats
from bioinfokit.analys import stat

def split(df, col):
    return [
        df[df["handedness"] == "left"][df["sex"] == "female"][col],
        df[df["handedness"] == "left"][df["sex"] == "male"][col],
        df[df["handedness"] == "right"][df["sex"] == "female"][col],
        df[df["handedness"] == "right"][df["sex"] == "male"][col]
    ]

def vartest(df, col):
    s = split(df, col)
    stat, p = levene(s[0], s[1], s[2], s[3])
    print("F value:", round(stat, 4), "Pr(>F)", round(p, 4))

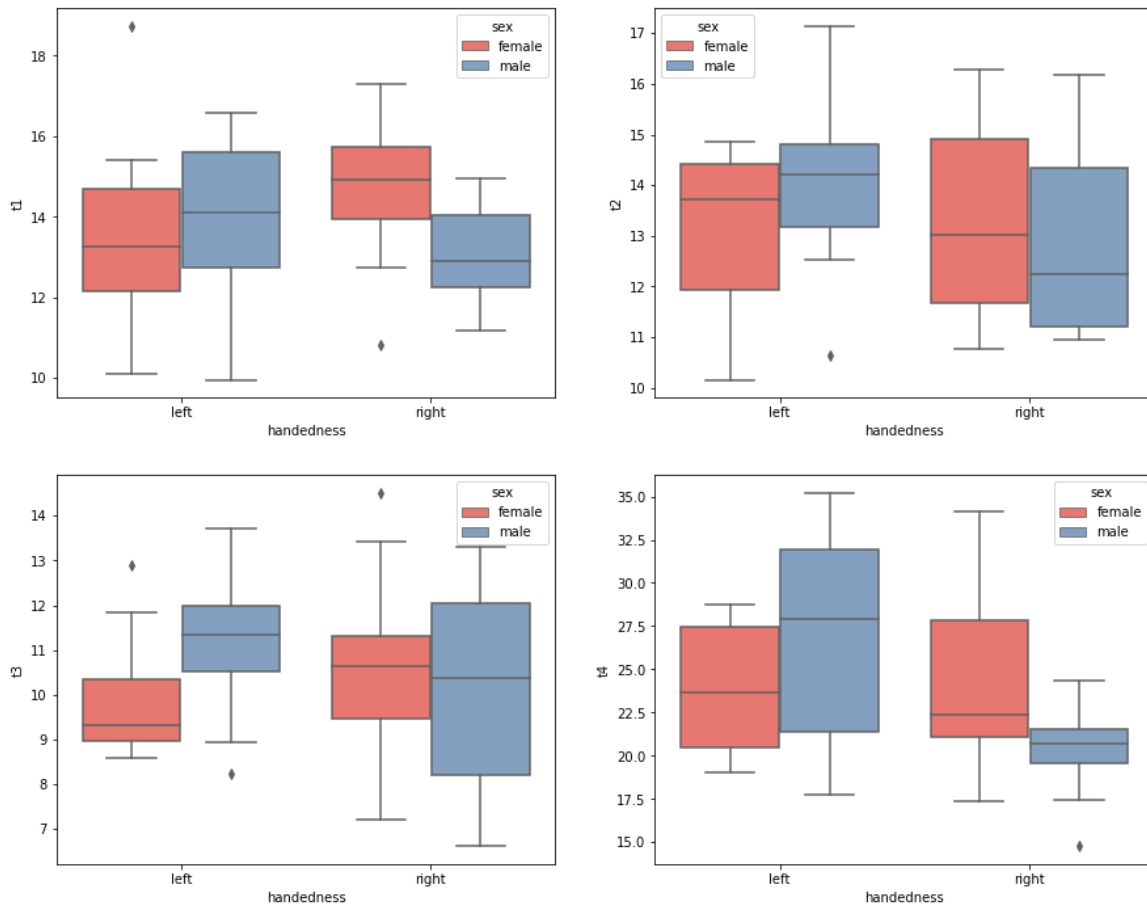
def anova(df, col):
    stats.probplot(df[col], dist="norm", plot=pylab)
    pylab.show()
    model = ols(col + ' ~ sex * handedness', data=df).fit()
    anova_table = sm.stats.anova_lm(model, typ=3)
    return anova_table

data = pd.read_csv("data.csv")
data = data.sort_values(["sex", "handedness"])
mypal = {sex: '#f9665e' if sex == "female" else '#799fcb' for sex in data["sex"].unique()}

ft = data
ft["group"] = ft["handedness"] + ft["sex"]

fig, axes = plt.subplots(2, 2, figsize=(15, 12))
fig.suptitle("Tiriamieji grafikai")
sns.boxplot(ax = axes[0,0], x="handedness", y="t1", hue="sex", data=data, palette=mypal)
sns.boxplot(ax = axes[0,1], x="handedness", y="t2", hue="sex", data=data, palette=mypal)
sns.boxplot(ax = axes[1,0], x="handedness", y="t3", hue="sex", data=data, palette=mypal)
sns.boxplot(ax = axes[1,1], x="handedness", y="t4", hue="sex", data=data, palette=mypal)
```

### Tiriamieji grafikai



```
means = data.groupby(['sex', 'handedness']).mean()
```

```
fig, axes = plt.subplots(2, 2, figsize=(15, 12))
```

```
fig.suptitle("Vidurkių grafikas")
```

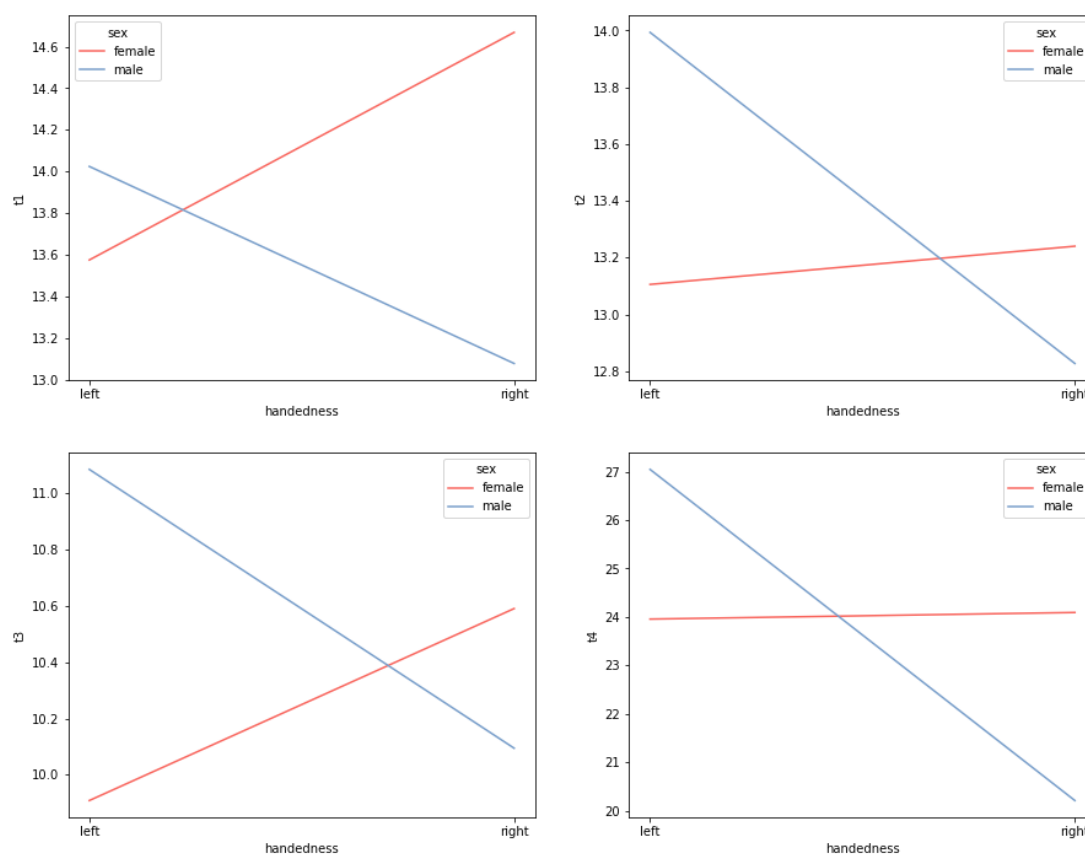
```
sns.lineplot(ax = axes[0, 0], x="handedness", y="t1", hue="sex", data=means, palette=mypal)
```

```
sns.lineplot(ax = axes[0, 1], x="handedness", y="t2", hue="sex", data=means, palette=mypal)
```

```
sns.lineplot(ax = axes[1, 0], x="handedness", y="t3", hue="sex", data=means, palette=mypal)
```

```
sns.lineplot(ax = axes[1, 1], x="handedness", y="t4", hue="sex", data=means, palette=mypal)
```

# Vidurkių grafikas



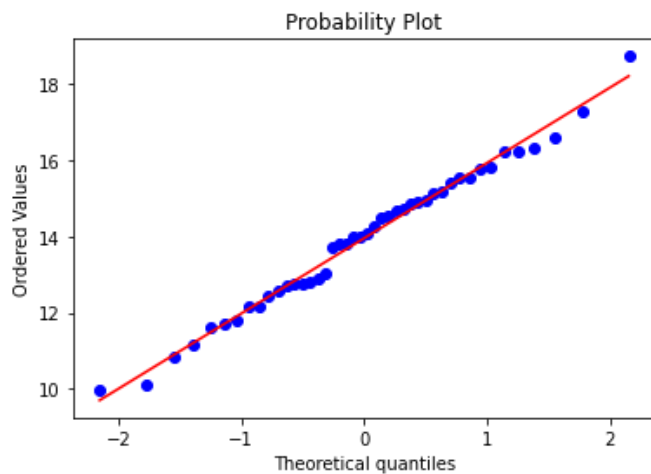
```
varTest(data,"t1")
F value: 0.8848 Pr(>F) 0.4572
```

```
varTest(data,"t2")
F value: 0.4793 Pr(>F) 0.6985
```

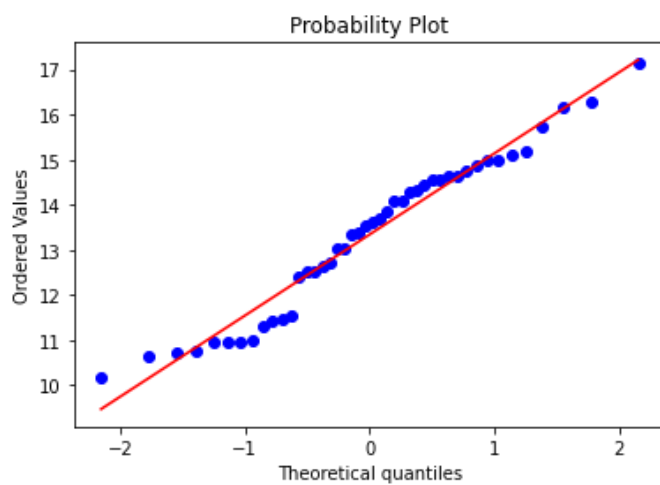
```
varTest(data,"t3")
F value: 1.7389 Pr(>F) 0.1745
```

```
varTest(data,"t4")
F value: 1.8124 Pr(>F) 0.1604
```

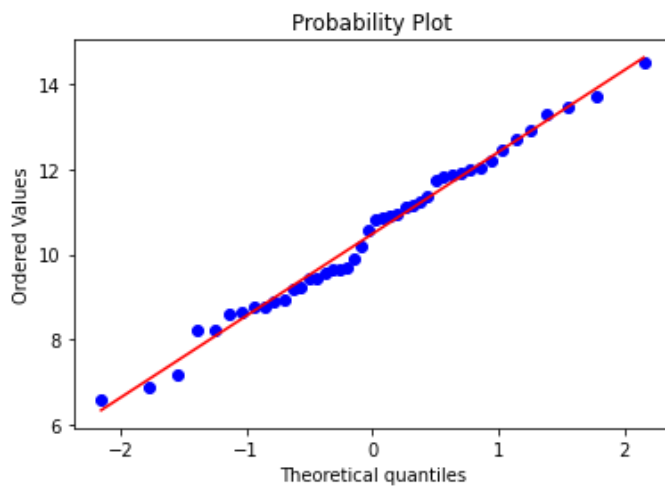
|                | sum_sq      | df   | F          | PR(>F)       |
|----------------|-------------|------|------------|--------------|
| Intercept      | 1842.757078 | 1.0  | 507.629040 | 2.428428e-24 |
| sex            | 1.102086    | 1.0  | 0.303594   | 5.847024e-01 |
| handedness     | 6.979565    | 1.0  | 1.922679   | 1.732417e-01 |
| sex:handedness | 10.967304   | 1.0  | 3.021191   | 8.987678e-02 |
| Residual       | 145.205016  | 40.0 | NaN        | NaN          |



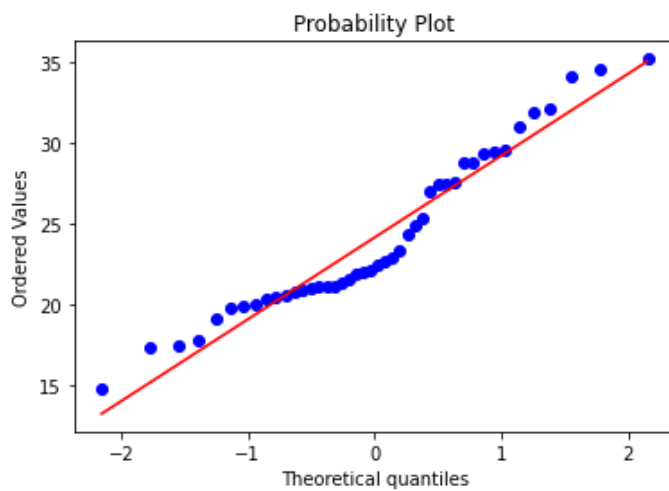
|                | sum_sq      | df   | F          | PR(>F)       |
|----------------|-------------|------|------------|--------------|
| Intercept      | 1717.564555 | 1.0  | 538.700233 | 8.037321e-25 |
| sex            | 4.301995    | 1.0  | 1.349286   | 2.522877e-01 |
| handedness     | 0.105805    | 1.0  | 0.033185   | 8.563713e-01 |
| sex:handedness | 4.459198    | 1.0  | 1.398591   | 2.439417e-01 |
| Residual       | 127.533975  | 40.0 | NaN        | NaN          |



|                | sum_sq     | df   | F          | PR(>F)       |
|----------------|------------|------|------------|--------------|
| Intercept      | 981.812039 | 1.0  | 276.846236 | 1.413343e-19 |
| sex            | 7.541214   | 1.0  | 2.126432   | 1.525851e-01 |
| handedness     | 2.710706   | 1.0  | 0.764351   | 3.871895e-01 |
| sex:handedness | 7.358940   | 1.0  | 2.075035   | 1.575086e-01 |
| Residual       | 141.856657 | 40.0 | NaN        | NaN          |



|                | sum_sq      | df   | F          | PR(>F)       |
|----------------|-------------|------|------------|--------------|
| Intercept      | 5738.425909 | 1.0  | 261.107038 | 3.929689e-19 |
| sex            | 52.051729   | 1.0  | 2.368432   | 1.316855e-01 |
| handedness     | 0.108554    | 1.0  | 0.004939   | 9.443204e-01 |
| sex:handedness | 127.945606  | 1.0  | 5.821718   | 2.050468e-02 |
| Residual       | 879.091725  | 40.0 | NaN        | NaN          |



```
res = stat()
res.tukey_hsd(df=ft, res_var='t4', xfac_var='group', anova_model='t4 ~ group')
res.tukey_summary
```

|   | group1      | group2      | Diff     | Lower     | Upper     | q-value  | p-value  |
|---|-------------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 0 | leftfemale  | rightfemale | 0.136416 | -5.066654 | 5.339486  | 0.099392 | 0.900000 |
| 1 | leftfemale  | leftmale    | 3.089145 | -2.291556 | 8.469846  | 2.176434 | 0.425942 |
| 2 | leftfemale  | rightmale   | 3.745010 | -2.215856 | 9.705877  | 2.381714 | 0.345613 |
| 3 | rightfemale | leftmale    | 2.952729 | -1.990949 | 7.896407  | 2.264224 | 0.390736 |
| 4 | rightfemale | rightmale   | 3.881426 | -1.688128 | 9.450981  | 2.641903 | 0.257923 |
| 5 | leftmale    | rightmale   | 6.834156 | 1.098309  | 12.570002 | 4.516826 | 0.013984 |