

2021-01-033



אפיון ופיתוח מערכת לניתוח אותות קצב לב

*Design and Development of a software
for analyzing heart rate signals*

צוות הפרויקט: נעם שניאור וספיר קורן

הנחיה אקדמית: ד"ר אבינועם בורובסקי ודנה רידל

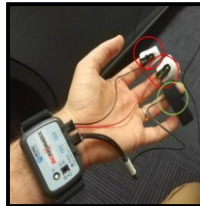
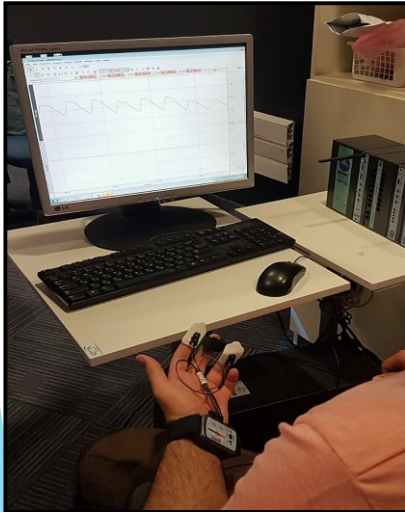


על סדר היום



רקע לפרויקט

- ▶ מכשיר ה-BIOPAC משמש לצרכי מחקר.
- ▶ המכשיר מספק נתונים אודות מדדים פיזיולוגיים של נבדקים.



BIOPAC
Systems, Inc.

 **BIOHEART**

- במחלקה להנדסת תעשייה וניהול מתבצעים ניסויים בסימולטור נהיגה על רכב חצי אוטונומי.
- בניסויים שמטרתם לנתר קצב לב בזמן נהיגה, מחברים את הנבדק למכשיר שנקרא ביופק.

מטרה ומוטיבציה



▶ **מטרת הפרויקט:** סיוע למחקרים המבוצעים במעבדת סימולטור הנהיגה.

▶ אפיון ופיתוח כלי תכונתי לניתוח אותות פיזיולוגיים ממכשיר ה-BIOPAC, בצורה אוטומטית.

▶ ניתוח סטטיסטי ללא הכנה מוקדמת של הנתונים.

▶ הכלי מחשב מדדים סטטיסטיים המשקפים את מידת הלחץ או עומס על הנהג.



המחשה לפלט ממכשיר ה-BIOPAC

פלט SIMULATOR

| Flag | Time |
|------|------------|
| 3 | 1046.2 |
| 3 | 1046.21667 |
| 3 | 1046.23333 |
| 3 | 1046.25 |
| 3 | 1046.26667 |
| 3 | 1046.28333 |
| 3 | 1046.3 |
| 3 | 1046.31667 |
| 3 | 1046.33333 |
| 3 | 1046.35 |
| 3 | 1046.36667 |
| 3 | 1046.38333 |
| 3 | 1046.4 |
| 3 | 1046.41667 |
| 3 | 1046.43333 |

פלט RR

| HRV Analysis, CH6, PPG100C | |
|----------------------------|--|
| RR Intervals | |
| 0.811 | |
| 3.171 | |
| 1.55 | |
| 0.714 | |
| 0.812 | |
| 0.854 | |
| 0.847 | |
| 0.796 | |
| 0.824 | |
| 0.868 | |
| 0.868 | |
| 0.755 | |
| 0.824 | |
| 0.836 | |
| 0.709 | |
| 1.291 | |

פלט ECG

| par1.acq | | | |
|---------------|-----------|-------------|--|
| msec/sample 1 | | | |
| channels 3 | | | |
| ECG - ECG100C | | | |
| mV | | | |
| Wireless ECG | | | |
| Volts | | | |
| Heart Rate | | | |
| BPM | | | |
| CH40 | CH8 | CH4 | |
| 1394321 | 1394321 | 1394321 | |
| 0 | -0.375977 | 0.000610352 | |
| 0 | -0.39032 | 0.0012207 | |
| 0 | -0.405273 | 0.000305176 | |
| 0 | -0.41626 | 0.000305176 | |
| 0 | -0.429688 | 0.000305176 | |
| 0 | -0.440979 | 0.000915527 | |
| 0 | -0.451355 | 0.000305176 | |
| 0 | -0.464783 | 0.000610352 | |
| 0 | -0.477905 | 0.000305176 | |
| 0 | -0.490723 | 0.0012207 | |

5



מימין זה פלט ECG שמראה את קצב הלב בכל אלפית שניה, במרכז זה קובץ של r-r שמציג את המרווחים בין כל 2 פסגות עוקבות של פעימות הלב, ומשמאל זה פלט הסימולטור שמציג עבור כל נקודת זמן את מספר תרחיש הנהיגה.

כיום מתבצע עיבוד ידני והתאמה של הנתונים מהסימולטור ומהאק"ג עבור כל נבדק בנפרד ויש המון דאטה לכל נבדק, לכן לוקח לחוקרים הרבה זמן להכין לניתוח את הקבצים הגולמיים ולהפיק מהם ממצאים.

סקר ספרות

מדדים פיזיולוגיים



- קצב לב (HR - Heart Rate)
- שונות קצב לב (HRV - Heart Rate Variability)

מחקרים רבים הראו שקצב הלב ושונות קצב הלב הינם מדדים יעילים ואמינים למדידת עומס עבודה מנטאלי, ובפרט בזמן נהיגה.

- Brookhuis, K. A et al. (2010). Monitoring drivers' mental workload in driving simulators using physiological measures.

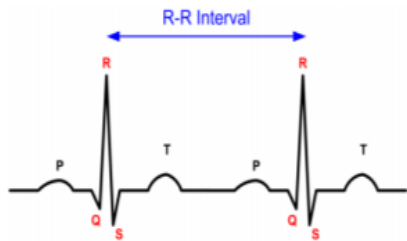
קצב לב (HR - Heart Rate)

▶ קצב הלב, המכונה דופק, הוא מספר פעימות הלב ליחידת זמן - שבדרך כלל מתבטאת בכמות ביטים לדקה (BPM - Beats Per Minute).

$$HR(bpm) = \frac{60}{RR(s)}$$

▶ חישוב קצב לב:

שוונות קצב לב (HRV - Heart Rate Variability)



- ▶ שונות מרווחי ה-RR. כלומר, שונות המרווחים בין פעימות לב רצופות.
- ▶ בתגובה לשינוי בתנאים הפיזיולוגיים, מתרחש שינוי במרווחים בין הפעימות.

- Baldoumas, G. et al. (2018). Comparison of the R-R intervals in ECG and Oximeter signals to be used in complexity measures of Natural Time Analysis.

8



בתגובה לשינוי בתנאים הפיזיולוגיים מתרחש שינוי במרווחי הזמן בין פעימות הלב כאשר במצבי לחץ/עומס שונות קצב לב יורדת. ובמצבי רגיעה ומנוחה השונות עולה.

שיטות נבחרות לניתוח נתוני שונות קצב לב (HRV)

- Root Mean Square of the Successive Differences (RMSSD):

$$\text{RMSSD} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} (RR_{i+1} - RR_i)^2}{n-1}}$$

RMSSD - שורש ריבועי ממוצע של ההפרשים הרציפים בין מרווחי הפעימות.

- Standard Deviation of Successive Differences of R-R Intervals (SDSD): $D_i = RR_{i+1} - RR_i$

$$\text{SDSD} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} (|D_i| - \bar{D})^2}{n-1}}$$

SDSD - סטיית התקן של ההבדלים במרווחים בין פעימות הלב.

- Standard deviation of NN intervals (SDNN):

$$\text{SDNN} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (RR_i - \bar{RR})^2}{n-1}}$$

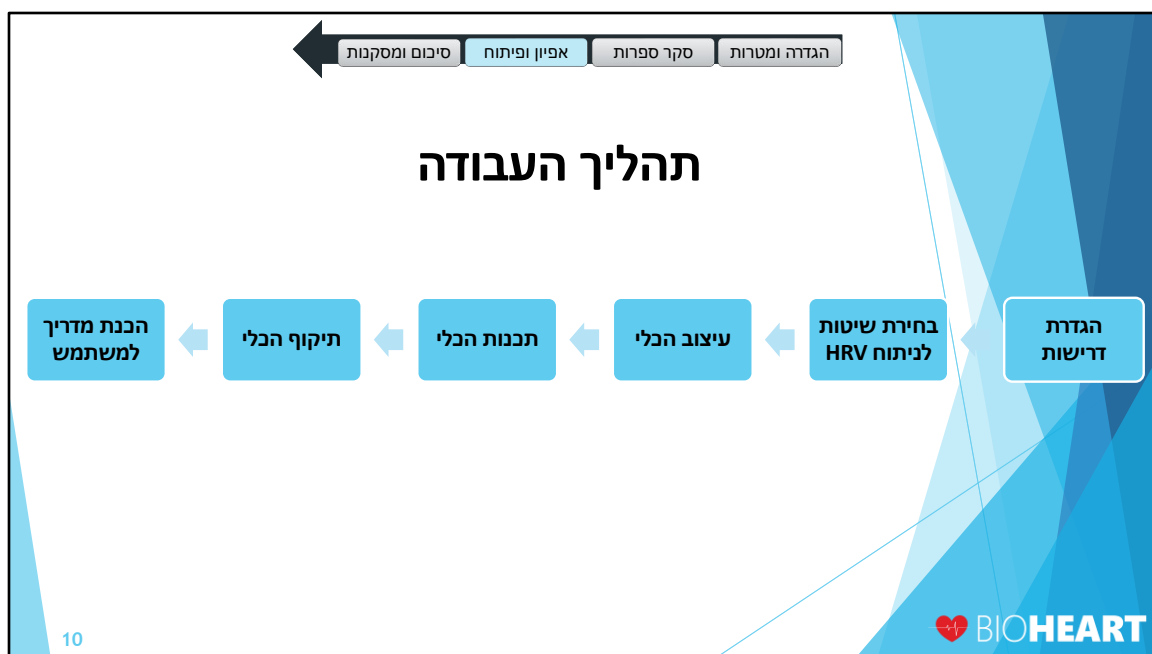
SDNN - סטיית תקן של המרווחים בין פעימות הלב.

- Percentage of Adjacent RR Intervals Differing more than 50 ms (PNN50):

$$\text{PNN50} = \frac{\text{NN50}}{N-1} \times 100\%$$

PNN50 - אחוז ההפרשים הגדולים מ-50 מילי-שניות.

- בספרות קיימות הרבה שיטות לניתוח שונות קצב הלב, ובכל מחקר מוצגת שיטה אחת או יותר מתוכם. למיטב ידיעתנו, לא בוצעה השוואה ישירה בין השיטות ואין בספרות הסבר על איזו שיטה עדיפה לאיזה מקרה, ולכן בחרנו לחשב בתוכנה את שונות קצב הלב לפי השיטות הכי מקובלות, והשארנו לכל חוקר את הבחירה באיזו שיטה להשתמש בניתוחים שלו.

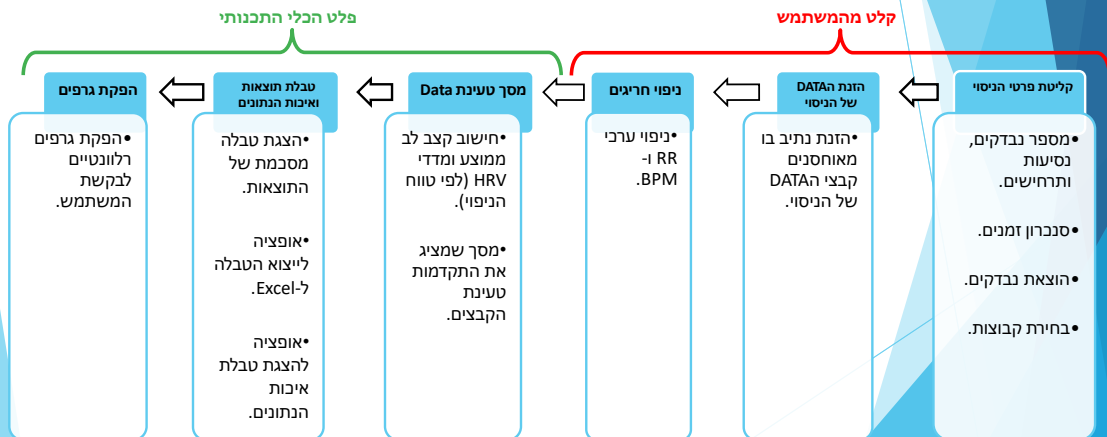


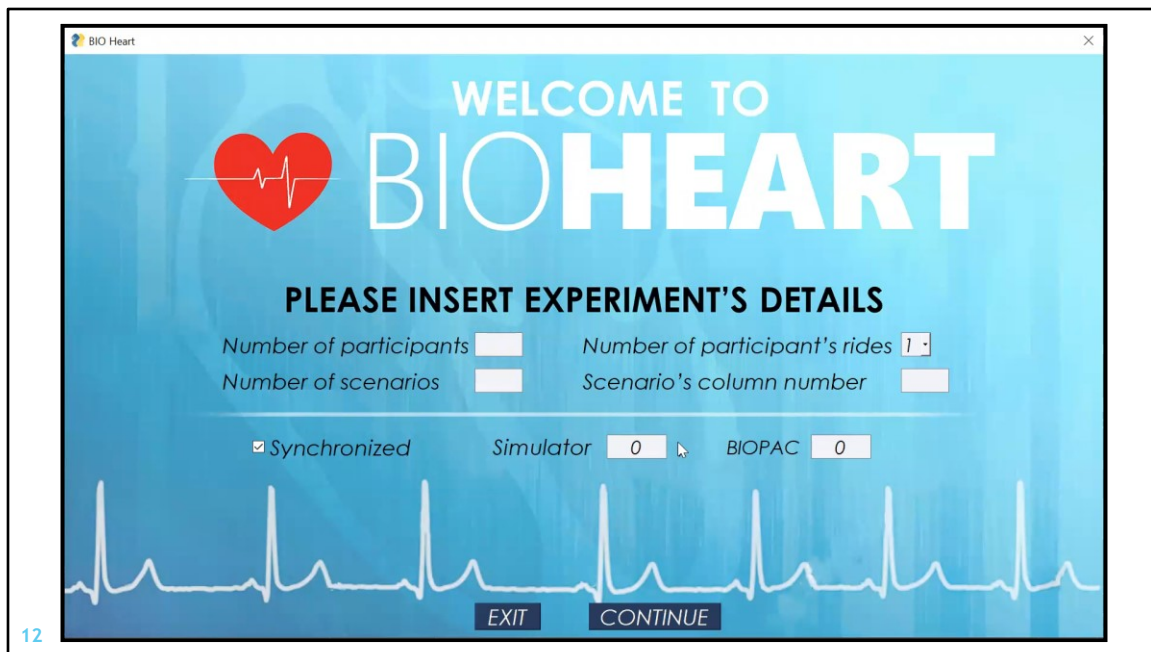
הקושי העיקרי - מתכנות מערכת גנרית לניסויים ובפועל לא עושות ניסוי, בעצמנו לכן שיחה עם מספר אנשים שביצעו ניסוי בסימולטור שמדד אק"ג והגדרנו דרישות.

התייעצנו עם מהנדס תוכנה בנוגע לתכנון הקוד והממשק הגרפי כך שהתוכנה תהיה גנרית ככל שניתן.

בספרות קיימות מספר פלטפורמות מבוססות לניתוח HRV - לאחר מחקר מעמיק של כמה מהן, הגענו למסקנה שתכנות בשפת פייתון יניב את התוצאות הטובות ביותר בזכות הפונקציונליות הרבה שפייתון מאפשרת בעת שימוש בממשק גרפי, והזמינות הגבוהה של מגוון ספריות קוד פתוח.

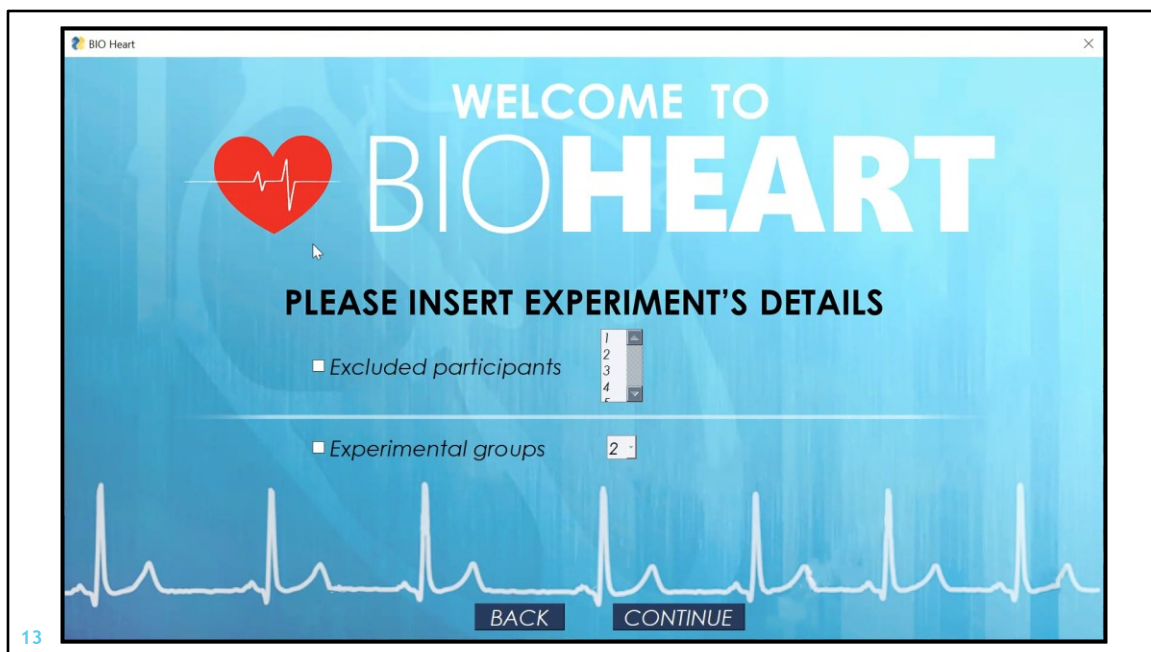
הכלי התכנותי





- מסך ראשי גנרי שיתאים לכלל הניסויים המתבצעים במעבדה.
המשתמש מתבקש להזין את פרטי הניסוי:
- מספר נבדקים
 - מספר נסיעות שמבצע כל נבדק בניסוי
 - מספר התרחישים בכל נסיעה
 - ומספר העמודה מקובץ הסימולטור שבה מופיעים התרחישים.

בגלל שלא תמיד מפעילים בניסוי את הסימולטור ואת מכשיר הביופק באותו זמן, נתנו כאן אפשרות להוריד מספר מסוים של שניות בשביל לסנכרן בין הזמנים שנמדדו. בדיקת קלט- במידה ואחד השדות נותר ריק, מוצגת הודעה למשתמש למלא את כל השדות, אחרת לא ניתן להמשיך.

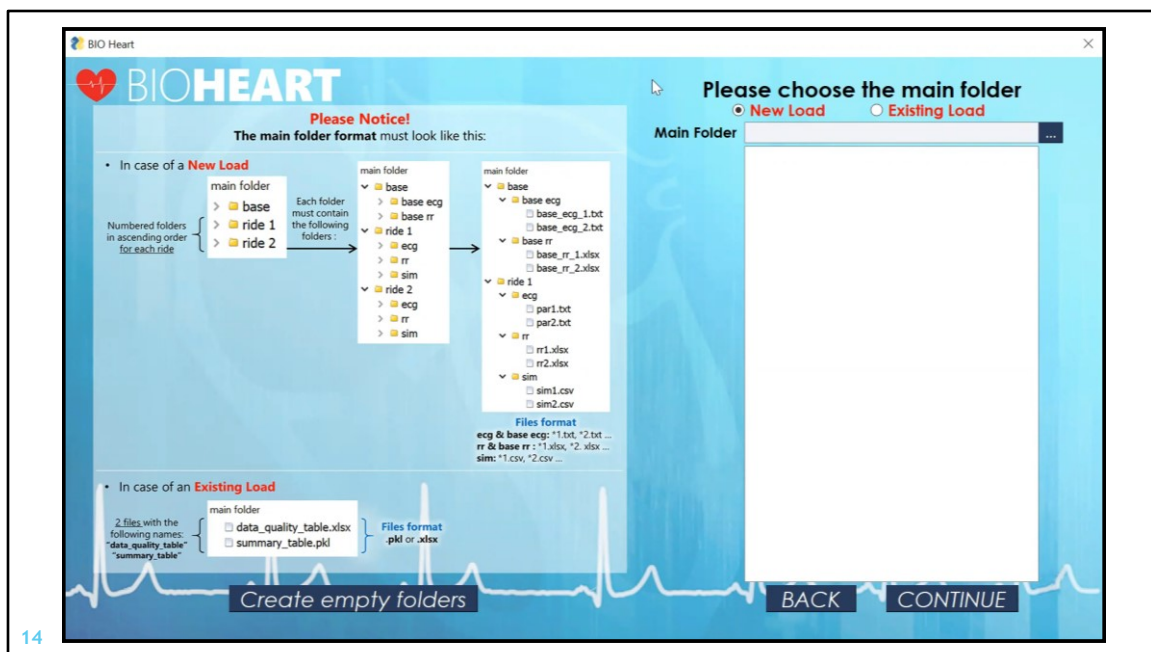


ניתן להוציא נבדקים שהייתה בעיה במהלך ההרצה שלהם ועורך הניסוי לא ירצה לכלול אותם בניתוח התוצאות. בצורה כזאת כל נבדק נשמר במספרו הסידורי ואנו מאפשרות שיהיו קבצים חסרים בתיקיות הניסוי. במקרה הזה הורדנו את נבדקים 1 עד 7.

ניתנת גם אופציה לחלק את הנבדקים לקבוצות, ולבסוף להציג את ההבדלים בין הקבוצות בגרפים.

בלחיצה על הכפתור - נפתחות קבוצות לבחירת נבדקים, במקרה הזה שתי קבוצות.


מקרה קצה - אסור להשאיר קבוצה ריקה וחייב לבחור את כל המשתתפים בקבוצות.



מסך בו בוחרים את התיקייה הראשית, המשתמש יכול לבחור בין 2 אפשרויות. או שמדובר בניסוי חדש וטעינתו בפעם הראשונה, או שמדובר בטעינה חוזרת של ניסוי. לאחר שבוחרים תיקיה אפשר לראות את התכולה שלה, ומשמאל אפשר לראות את הפורמט הנדרש ואפשר לבדוק את עצמנו שזה תואם לפורמט. קבצי הניסוי הגולמיים מורכבים מ: **base** – קבצים שמטרתם להוות בסיס להשוואה - בדרך כלל מודדים אק"ג מספר דקות בזמן מנוחה. ולכל **נסיעה** יש תיקייה נפרדת ובכל תיקייה יש את קבצי **האק"ג** בעזרתם מחשבים קצב לב ממוצע, קבצי ה- **RR** בעזרתם מחשבים את שונות קצב הלב, וקבצי ה**סימולטור** שבהם מאוחסנים זמני התרחישים והם הגורם המקשר בין כל הקבצים. חשוב לציין שהפורמט לא מצריך מהמשתמש מאמץ גדול, ניתנת אופציה לקבוע נתיב בו התוכנה תייצר תיקיות לפי הפורמט (בהתאם לכמות הנסיעות שהוכנסו כקלט) והמשתמש רק יצטרך למלא בתיקיות את הקבצים.

המערכת שלנו שומרת באופן אוטומטי את הטבלאות בתור קבצים דחוסים מסוג פיקל שנטענים במהירות ולא ניתן לשנות את התוכן שלהם. מעבר לכך התוכנה מקבלת את הטבלאות גם כקבצי אקסל, אותם ניתן לערוך (למשל למחוק שורות של תרחיש שנמצא לא תקין). כך אפשר לבצע טעינה חוזרת במועד מאוחר יותר, לדלג על שלב העיבוד הארוך ולהפיק גרפים.

Filter Exceptional Values

 **BIOHEART**

Exceptions Filtering

☒ **No filtering**

☐ **Exceptions values - RR intervals**
choose desired range of RR values: -

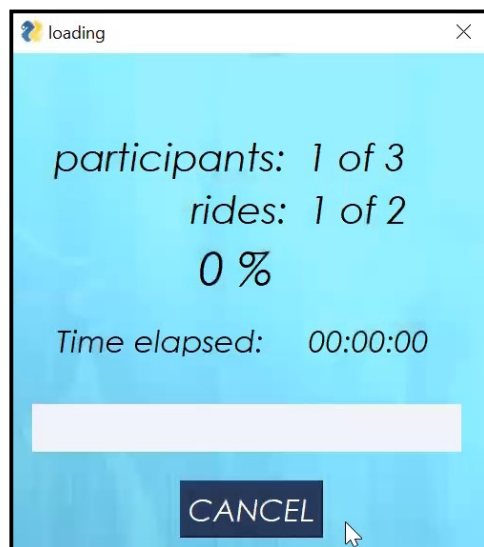
☐ **Exceptions values - ECG BPM**
choose desired range of BPM values: -

BACK

CONTINUE

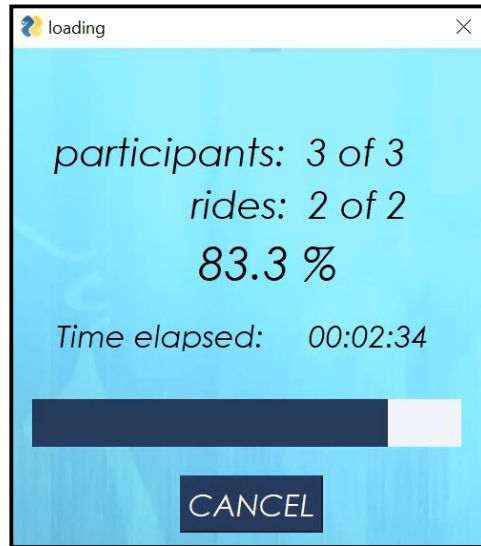
הערכים הדיפולטיביים הם הערכים המקובלים לניפוי מהספרות והמשתמש יכול לבחור טווח ערכים כרצונו.

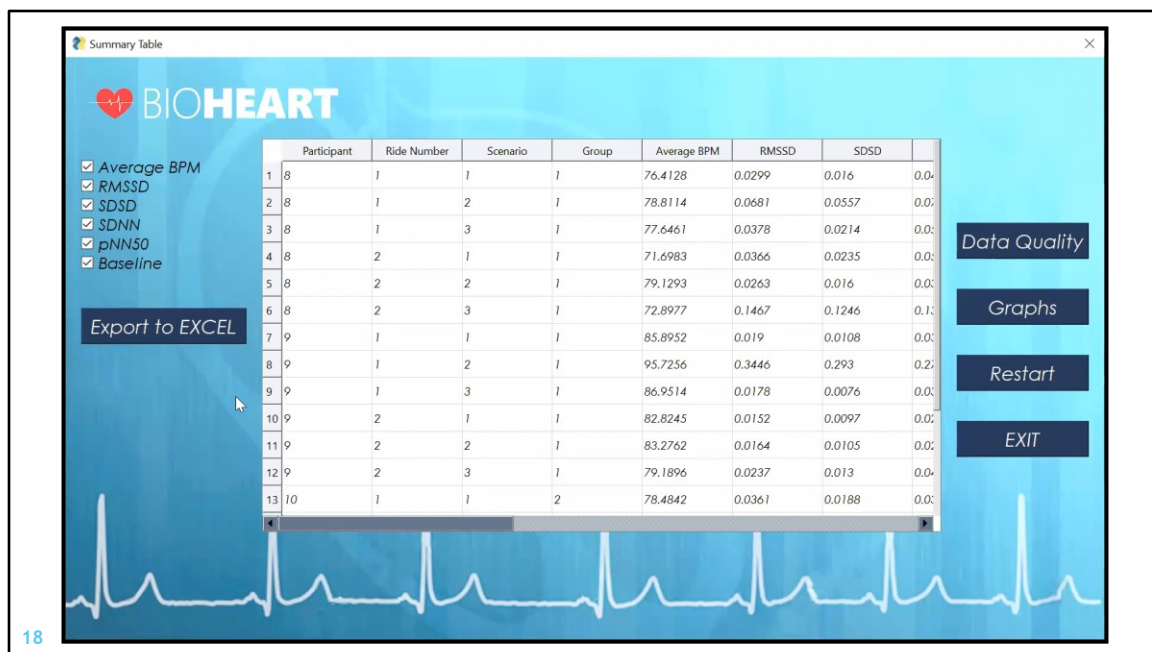
15



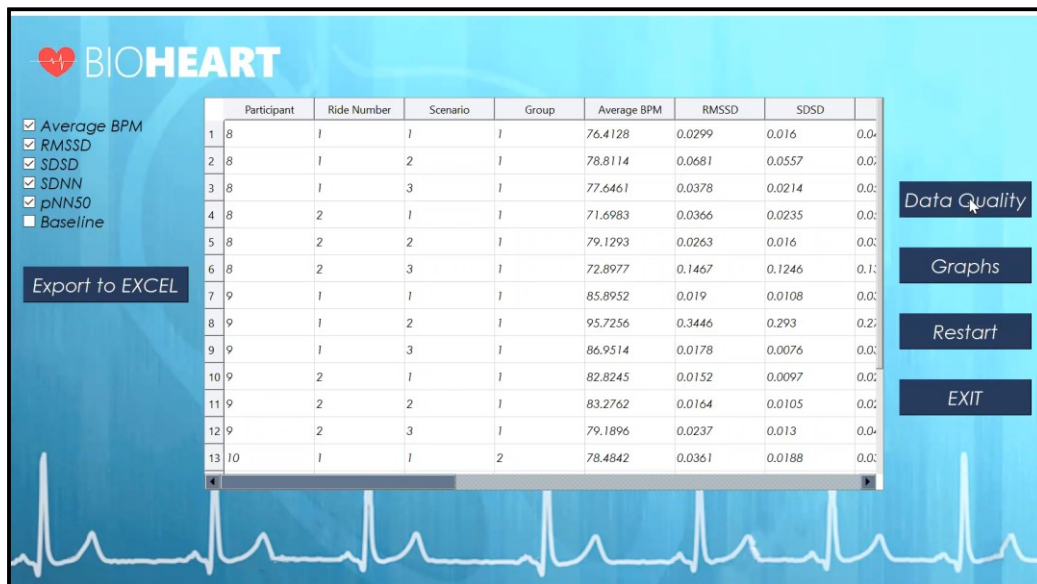
16

תכנות מקבילי - כדי להציג ולעדכן את מסך הטעינה ולבצע עיבוד לנתונים בו זמנית.
זמן הטעינה תלוי בגודל הקבצים של אותו ניסוי ובמעבד של המחשב עליו רצה התוכנה.

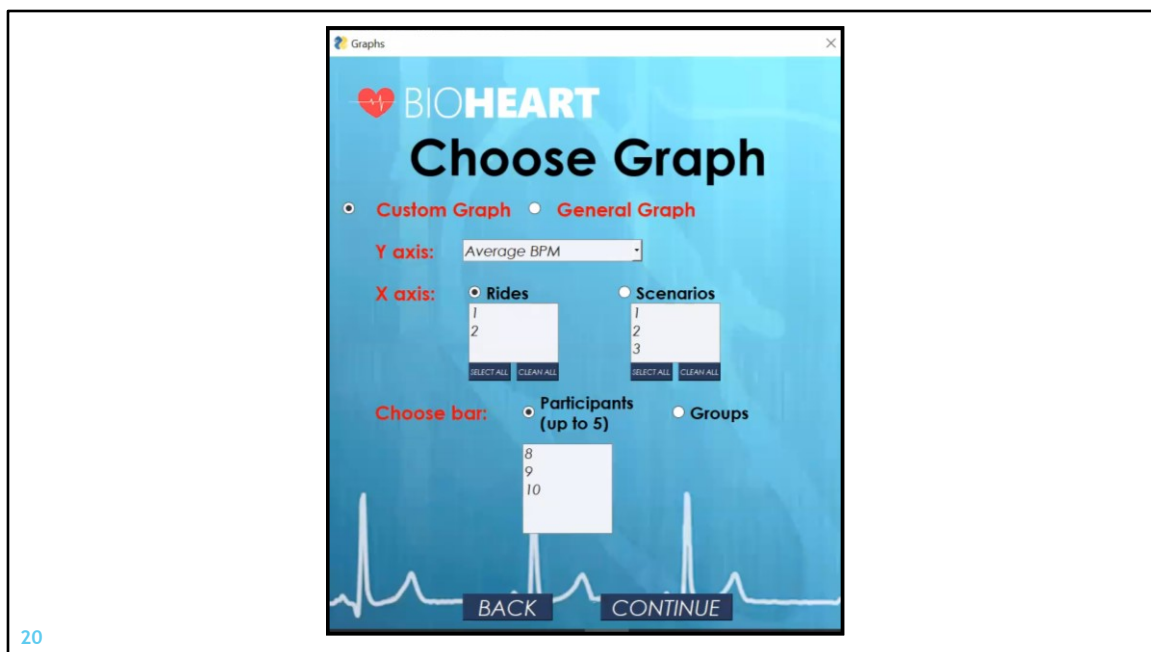




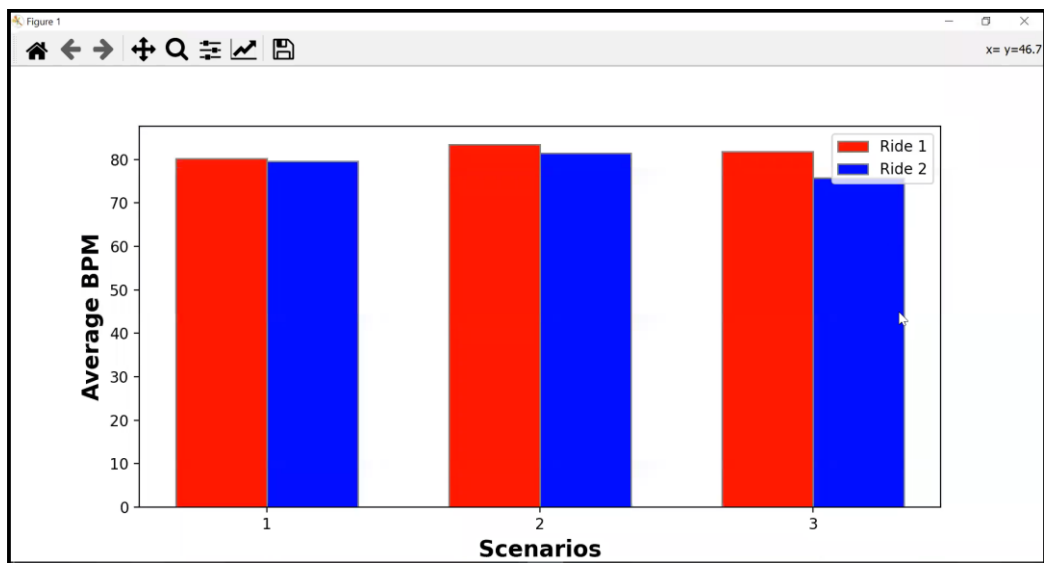
כל רשומה מבטאת תרחיש בנסיעה מסוימת עבור נבדק מסוים.
 ניתן לבחור את עמודות המדדים הרלוונטיים לאותו חוקר, ולייצא את הטבלה לאקסל עם אותן עמודות שנבחרו לייצוא.
 ומכאן אנחנו מאפשרות צפייה במדדי איכות הנתונים, והתבוננות בתוצאות בצורה וויזואלית באמצעות גרפים.



כמו בכל תוכנה סטטיסטית חשוב לראות את מדדי איכות הנתונים עבור כל רשומה בטבלת התוצאות.

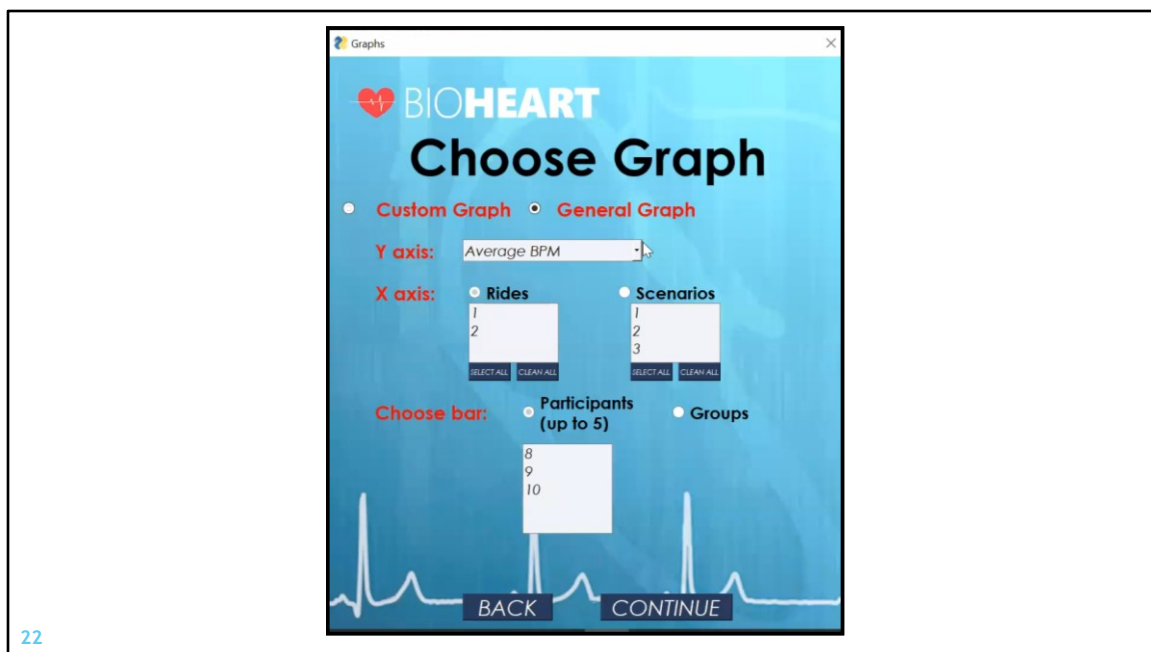


יצרנו מסך גרפים גנרי שבו אפשר לבחור גרף כללי או גרף מותאם אישית. בגרף הכללי אפשר לבחור רק את ציר ה-Y

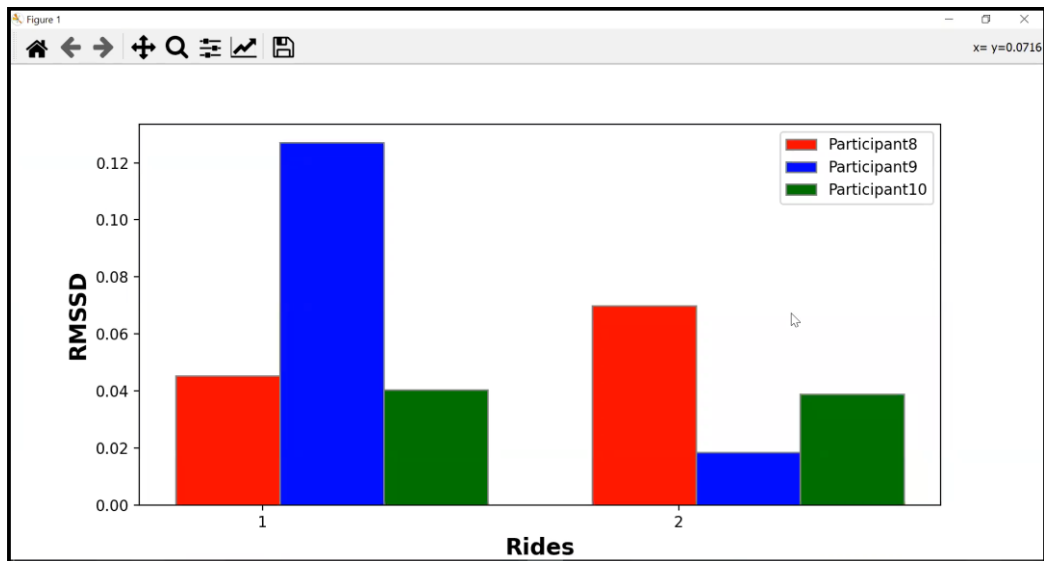


21

בגרף הכללי אפשר לבחור רק את ציר ה-Y ומוצגים בו כל התרחישים וכל הנסיעות עבור כל הנבדקים.



בגרף מותאם אישית ניתן לבחור עד 5 נבדקים או להשוות בין קבוצות, יש אפשרות לבחור כגם את ציר הX וגם את ציר הY, וכמובן קיימת אופציה לפלטר את מספר התרחישים, הנסיעות והנבדקים.



23

פיתוח הכלי

```

main.py HRV_METHODS.py LAYOUT_UI.py UI_FUNCTIONS.py globals.py EARLY_P_FUNCTIONS.py
1 import globals
2 import math
3
4
5 def RMSSD(list_of_rr_flag):
6     """
7     Return a list of RMSSD per scenario (of specific participant & ride), without scenario 0.
8     """
9     # Creating a list whose number of places is the same as the number of scenarios, and fill it in zeros.
10    listRMSSD = [0] * (globals.scenario_num + 1)
11    for i in range(1, len(list_of_rr_flag)):
12        if len(list_of_rr_flag[i]) != 0:
13            for j in range(len(list_of_rr_flag[i])-1):
14                listRMSSD[i] += (list_of_rr_flag[i][j+1] - list_of_rr_flag[i][j]) ** 2 # The numerator in the rmssd formula,
15                globals.list_count_rr_intervals_flag[i] += 1

```

24



רואים כאן איך הצעדים שנקטנו - למשל מודולריות, תיעוד הקוד וחלוקה לקבצים - זה מה שיאפשר להמשיך ולפתח את הכלי בעתיד

תיקוף הכלי

פלט מהתוכנה

| Participant | Ride Number | Scenario | Group | Average BPM | RMSSD | SDSD | SDNN | PNN50 |
|-------------|-------------|----------|-------|-------------|--------|--------|--------|---------|
| 10 | 1 | 1 | 1 | 78.4842 | 0.0361 | 0.0361 | 0.0311 | 4.7619 |
| 10 | 1 | 3 | 1 | 75.8584 | 0.0529 | 0.0528 | 0.0566 | 21.875 |
| 10 | 1 | 4 | 1 | 80.8529 | 0.0325 | 0.0324 | 0.0278 | 9.0909 |
| 10 | 2 | 2 | 1 | 84.1927 | 0.0305 | 0.0305 | 0.0225 | 3.3333 |
| 10 | 2 | 5 | 1 | 81.849 | 0.0401 | 0.0399 | 0.0627 | 5.5556 |
| 10 | 2 | 8 | 1 | 75.2224 | 0.0464 | 0.0463 | 0.0499 | 13.7931 |

בדיקה ידנית לדוגמא

| RR | Time | מרווחים | מרווחים |
|-------|---------|---------|----------|
| 0.816 | 430.747 | -0.065 | 0.004225 |
| 0.751 | 431.563 | 0.009 | 8.1E-05 |
| 0.76 | 432.314 | -0.006 | 3.6E-05 |
| 0.754 | 433.074 | -0.014 | 0.000196 |
| 0.74 | 433.828 | -0.023 | 0.000529 |
| 0.717 | 434.568 | 0.044 | 0.001936 |
| 0.761 | 435.285 | 0.062 | 0.003844 |
| 0.823 | 436.046 | -0.051 | 0.002601 |
| 0.772 | 436.869 | 0.029 | 0.000841 |
| 0.801 | 437.641 | 0.005 | 0.000025 |
| 0.806 | 438.442 | -0.044 | 0.001936 |
| 0.762 | 439.248 | -0.031 | 0.000961 |
| 0.731 | 440.01 | 0.029 | 0.000841 |
| 0.76 | 440.741 | 0.017 | 0.000289 |
| 0.777 | 441.501 | -0.047 | 0.002209 |
| 0.73 | 442.278 | -0.006 | 3.6E-05 |
| 0.724 | 443.008 | 0.033 | 0.001089 |
| 0.757 | 443.732 | 0.001 | 0.000001 |
| 0.758 | 444.489 | -0.045 | 0.002025 |
| 0.713 | 445.247 | 0.041 | 0.001681 |
| 0.754 | 445.96 | 0.044 | 0.001936 |
| 0.798 | 446.714 | | |

| |
|-------------------------|
| נבדק 10 נסיעה 1 תרחיש 1 |
| RMSSD |
| 21 0.027318 0.0361 |

הכלי תוקף באמצעות ניתוח ידי של שני ניסויים שבוצעו במחלקה. ניתחנו ידנית את הקבצים והשוונו את הניתוח הידני אל מול התוצאות מהתוכנה שלנו.

הגדרה ומטרות
סקר ספרות
אפיון ופיתוח
סיכום ומסקנות

סיכום ומסקנות

הישגים מרכזיים

- היכרות עם התחום הפיזיולוגי.
- התמודדות עם DATA מורכב.
- למידה עצמאית של שפת תכנות Python ועבודה עם GIT.
- יצירת כלי גנרי וידידותי למשתמש אשר מפשט את תהליך עיבוד וניתוח הנתונים המתקבלים בניסויים.

פיתוח עתידי

- Usability Testing
- REAL TIME
- יצירת DATA BASE לצורך שמירת היסטוריית הניסויים.

26

לסיכום, הכרנו את התחום הפיזיולוגי והתמודדנו עם DATA מורכב. לצורך מימוש הכלי למדנו עצמאית לתכנת בשפת פייתון ובנוסף בכדי לעבוד בצוות בצורה יעילה למדנו להשתמש ב**ג'יט**. יצרנו ועיצבנו כלי גנרי וידידותי למשתמש המורכב ממספר מסכים מסונכרנים ביניהם והשתמשנו ב**תכנות מקבילי**. הטמעת הכלי החדש בעבודתם העתידית של חוקרים במעבדה יאפשר להם - גם אם אין להם ידע קודם בתכנות - להפיק בקלות ובמהירות מידע מעובד לגבי מצבם הרגשי של נבדקים על-בסיס נתוני מערכת ה-BIOPAC.

תודות

ד"ר אבינועם בורובסקי וגברת דנה רידל, על הנחיה ותמיכה

לאורך הפרויקט

פרופסור ליאור פינק, על הכוונה במהלך הסמינרים

thank you!

27



תודה על ההקשבה!

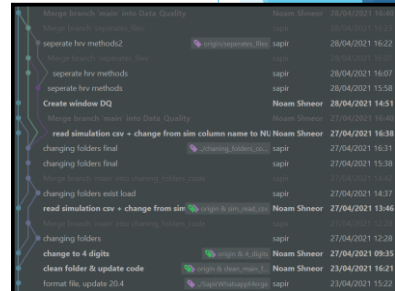
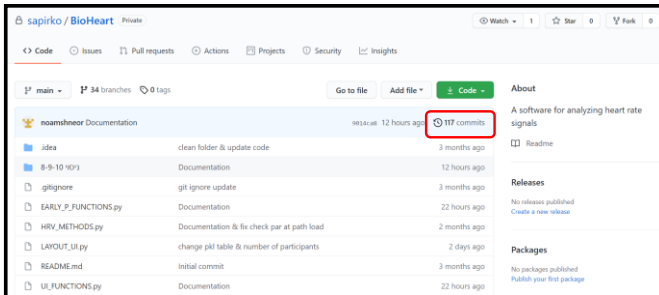
נשמח לענות על שאלות



מדדי איכות הנתונים

| Participant | Ride Number | Scenario | Group | Start time (sec) | End time (sec) | Duration (sec) | Total number of beats | Number of) | % Comp | BPM(ecg) : Minimum value | BPM(ecg) : Maximum value |
|-------------|-------------|----------|-------|------------------|----------------|----------------|-----------------------|-------------|--------|--------------------------|--------------------------|
| 8 | 1 | 2 | 1 | 141.7167 | 163.8667 | 22.15 | 22150 | 0 | 100 | 57.0342 | 103.806 |
| 8 | 1 | 3 | 1 | 248.85 | 264.2667 | 15.4167 | 15417 | 0 | 100 | 66.8151 | 85.3485 |
| 8 | 1 | 8 | 1 | 310.0333 | 339.8833 | 29.85 | 29850 | 0 | 100 | 68.5714 | 83.1025 |
| 8 | 2 | 1 | 1 | 425.0167 | 442.25 | 17.2333 | 17234 | 0 | 100 | 64.0342 | 80.3213 |
| 8 | 2 | 4 | 1 | 283 | 292.0333 | 9.0333 | 9034 | 0 | 100 | 75.5668 | 82.6446 |
| 8 | 2 | 5 | 1 | 605.4 | 630.1167 | 24.7167 | 24717 | 0 | 100 | 60.8519 | 84.0336 |
| 9 | 1 | 2 | 2 | 141.5833 | 163.75 | 22.1667 | 22167 | 0 | 100 | 79.1557 | 93.0233 |
| 9 | 1 | 5 | 2 | 388.6 | 414.15 | 25.55 | 25551 | 0 | 100 | 58.2524 | 180.18 |
| 9 | 1 | 8 | 2 | 211.95 | 227.55 | 15.6 | 15601 | 0 | 100 | 80.8625 | 93.6037 |
| 9 | 2 | 1 | 2 | 344.2833 | 363.25 | 18.9667 | 18967 | 0 | 100 | 75.5668 | 86.7052 |
| 9 | 2 | 3 | 2 | 158.5667 | 183.9667 | 25.4 | 25400 | 0 | 100 | 77.1208 | 89.0208 |
| 9 | 2 | 4 | 2 | 710.1167 | 719.6333 | 9.5166 | 9517 | 0 | 100 | 73.8007 | 85.592 |

שימוש בGIT



שימוש בתכנות מקבילי - Threading

```
start_time = time.time() # קביעת זמן התחלת ריצת החלון
# הרצת סרד במקביל על הפונקציה המתאימה שרצה ברקע של המסך
t = threading.Thread(target=early_process if is_newload else pickle_early_process)
t.setDaemon(True) # גורם לסרד "למות" כשנרצה שהוא ימות
t.start() # התחלת ריצת הסרד
```

```
def loading_window_update(loading_window, start_time):
    """
    A function that updates all the values on the loading screen.
    """
    loading_window.element("num of num").update(
        participants: " " + str(globals.current_par) + " of " + str(len(globals.list_of_existing_par)))
    if globals.percent + 100 < 99.9:
        loading_window.element("percent").update(str(round(globals.percent * 100, 1)) + "%")
        loading_window.element("p_bar").update_bar(globals.percent * 100)
    else:
        loading_window.element("percent").update("100 %")
        loading_window.element("p_bar").update_bar(100)
    elapsed_time = time.time() - start_time
    loading_window.element("Time elapsed").update(
        time.strftime("%M:%S", time.localtime(elapsed_time)))
    loading_window.element("current_rise").update(
        " " + str(globals.current_rise) + " of " + str(globals.par_rise_num))
```

```
@staticmethod
def early_process():
    """
    A function that organizes the raw files
    (same columns, matches the names column by times for all the files)
    and performs the processing of the files. The output is a summary table with the avg heart rate
    and the heart rate variance
    """
    globals.current_par = 1
    globals.current_rise = 1
    globals.percent = 0 # Displays in percentages for how many participants the final table has been processed
    par in globals.list_of_existing_par: # loop for participants that exist
```

עמודת התרחישים

| 12: CenterChannel_FlagScenario-SigOut[0][0] (ND) | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|------------|----|
| L | K | J | I | H | G | F | E | D | C | B | A | | |
| 12: CenterChannel_FlagScenario | 11: Center | 10: Center | 9: Center | 8: Center | 7: Center | 6: Center | 5: Center | 4: Center | 3: Center | 2: Center | 1: Time (sec) | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 2 | 0 | 2 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | -0.53199 | 5.27581 | -56.1596 | 0.016667 | 5 | 2 | 0.01666667 | 3 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | -0.53188 | 5.27581 | -56.1596 | 0.033333 | 5 | 2 | 0.03333333 | 4 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | -0.53155 | 5.27581 | -56.1596 | 0.05 | 5 | 2 | 0.05 | 5 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | -0.53149 | 5.27581 | -56.1596 | 0.066667 | 5 | 2 | 0.06666667 | 6 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | -0.53124 | 5.27581 | -56.1596 | 0.083333 | 5 | 2 | 0.08333333 | 7 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | -0.53106 | 5.27581 | -56.1595 | 0.1 | 5 | 2 | 0.1 | 8 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | -0.53091 | 5.275809 | -56.1594 | 0.116667 | 5 | 2 | 0.11666667 | 9 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | -0.53078 | 5.275808 | -56.1592 | 0.133333 | 5 | 2 | 0.13333333 | 10 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | -0.53068 | 5.275806 | -56.159 | 0.15 | 5 | 2 | 0.15 | 11 |

סנכרון

דוגמא: הורדת 5 שניות מקובץ הסימולטור

1. קובץ מקורי

| G | F | E | D | C | B | A | |
|---|---------|----------|----------|---|---|----------|---|
| 7: CenterC6: CenterC5: CenterC4: CenterC3: CenterC2: CenterC1: Time (s) | 1 | | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 2 | 0 | 2 |
| -0.532 | 5.27581 | -56.1596 | 0.016667 | 8 | 2 | 0.016667 | 3 |
| -0.53186 | 5.27581 | -56.1596 | 0.033333 | 8 | 2 | 0.033333 | 4 |
| -0.53158 | 5.27581 | -56.1596 | 0.05 | 8 | 2 | 0.05 | 5 |
| -0.53146 | 5.27581 | -56.1596 | 0.066667 | 8 | 2 | 0.066667 | 6 |
| -0.53129 | 5.27581 | -56.1596 | 0.083333 | 8 | 2 | 0.083333 | 7 |
| -0.53108 | 5.27581 | -56.1595 | 0.1 | 8 | 2 | 0.1 | 8 |

2. הסרה של 5*60 שורות

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|---|---|----------|---------------|
| -0.53086 | 5.279253 | -45.9831 | 4.85 | 8 | 2 | 4.85 | 293 |
| -0.53086 | 5.279703 | -45.9029 | 4.866667 | 8 | 2 | 4.866667 | 294 |
| -0.53085 | 5.280156 | -45.8223 | 4.883333 | 8 | 2 | 4.883333 | 295 |
| -0.53084 | 5.280613 | -45.7413 | 4.9 | 8 | 2 | 4.9 | 296 |
| -0.53083 | 5.281075 | -45.6598 | 4.916667 | 8 | 2 | 4.916667 | 297 |
| -0.53083 | 5.28154 | -45.5779 | 4.933333 | 8 | 2 | 4.933333 | 298 |
| -0.53082 | 5.28201 | -45.4955 | 4.95 | 8 | 2 | 4.95 | 299 |
| -0.53082 | 5.282484 | -45.4128 | 4.966667 | 8 | 2 | 4.966667 | 300 |
| -0.53081 | 5.282961 | -45.3296 | 4.983333 | 8 | 2 | 4.983333 | 301 |
| -0.53081 | 5.283443 | -45.246 | 5 | 8 | 2 | 5 | 300R x 16384C |

3. הקובץ לאחר ההסרה

| G | F | E | D | C | B | A | |
|---|----------|----------|----------|---|---|----------|---|
| 7: CenterC6: CenterC5: CenterC4: CenterC3: CenterC2: CenterC1: Time (s) | 1 | | | | | | |
| -0.53081 | 5.283443 | -45.246 | 5 | 8 | 2 | 5 | 2 |
| -0.5308 | 5.283928 | -45.1619 | 5.016667 | 8 | 2 | 5.016667 | 3 |
| -0.5308 | 5.284418 | -45.0775 | 5.033333 | 8 | 2 | 5.033333 | 4 |
| -0.53079 | 5.284911 | -44.9926 | 5.05 | 8 | 2 | 5.05 | 5 |
| -0.53079 | 5.285408 | -44.9073 | 5.066667 | 8 | 2 | 5.066667 | 6 |
| -0.53079 | 5.285908 | -44.8216 | 5.083333 | 8 | 2 | 5.083333 | 7 |
| -0.53079 | 5.286412 | -44.7354 | 5.1 | 8 | 2 | 5.1 | 8 |

4. החסרה של 5 שניות מהשורות שנשארו

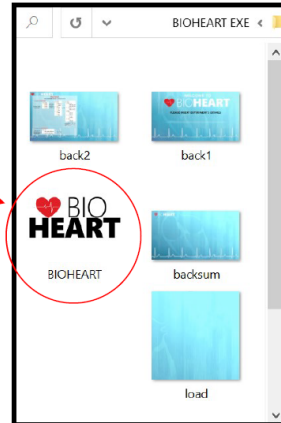
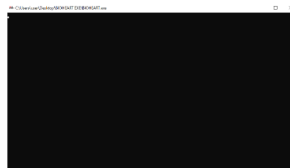
| H | G | F | E | D | C | B | A | |
|---|----------|----------|----------|---|---|----------|----------|---|
| 7: CenterC6: CenterC5: CenterC4: CenterC3: CenterC2: CenterC1: Time (s) | 1 | | | | | | | |
| -0.53081 | 5.283443 | -45.246 | 5 | 8 | 2 | 0 | 5 | 2 |
| -0.5308 | 5.283928 | -45.1619 | 5.016667 | 8 | 2 | 0.016667 | 5.016667 | 3 |
| -0.5308 | 5.284418 | -45.0775 | 5.033333 | 8 | 2 | 0.033333 | 5.033333 | 4 |
| -0.53079 | 5.284911 | -44.9926 | 5.05 | 8 | 2 | 0.05 | 5.05 | 5 |
| -0.53079 | 5.285408 | -44.9073 | 5.066667 | 8 | 2 | 0.066667 | 5.066667 | 6 |
| -0.53079 | 5.285908 | -44.8216 | 5.083333 | 8 | 2 | 0.083333 | 5.083333 | 7 |
| -0.53079 | 5.286412 | -44.7354 | 5.1 | 8 | 2 | 0.1 | 5.1 | 8 |

הרצת התוכנה

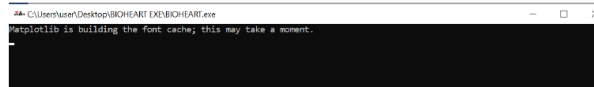
לא נדרשת הכנה מוקדמת!

ההפעלה חייבת להיות מתיקיה זו
בה יש 5 קבצים:

- 4 קבצי תמונות רקע למסכים.
- וקובץ מסוג EXE שנקרא **BIOHEART** -
- לוחצים עליו פעמיים ונפתח חלון .CMD.



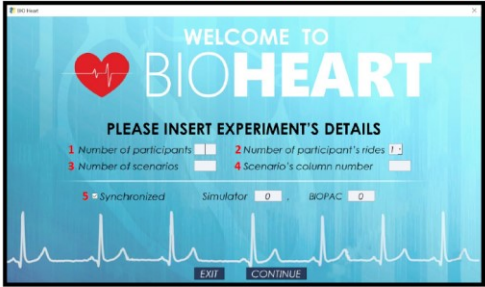
תופיע ההודעה הבאה:



ולאחר רגעים אחדים התוכנה תתחיל לרוץ 😊

 **BIOHEART**

מסך 1 + מסך 2 - קליטת נתוני הניסוי




קליטים במסך:

1. **מספר משתתפים** – מספר המשתתפים הכולל בניסוי.
מספר זה כולל משתתפים שהוצאו מהניסוי. החוכמה מאפשרת חוזרים בקבצים ובמסך הבא תינתן אופציה לבחור משתתפים שהוצאו מהניסוי מתוך סך המשתתפים.
2. **מספר נסיעות** – מספר הנסיעות שכל נבדק עבר בניסוי. בחירה בין 1-5.
3. **מספר תרחישים** – מספר תרחישי הנהיגה בניסוי.

הערה:

- במידה ויש 7 תרחישים וכל נבדק עבר בכל נסיעה את אותם תרחישים 1,2,...,7 נכניס בקלט 7 תרחישים סה"כ בניסוי.



מדריך למשתמש

2. **שליבים מקדימים**

2. קבצי סימולטור – PLT_TO_CSV

4. הכנסה לתיקיות

5. שינוי שמות קבצים

6. הרצת התוכנה

7. מסך 1 + מסך 2 - קליטת נתוני הניסוי

11. מסך 3 - מסך בחירת תיקייה ראשית


13. מסך 4 - מסך ניפוי חריגים (אופציונלי)

13. מסך 5 - מסך הטעינה

14. מסך 6 - מסך הטבלה המסכמת

15. מסך 7 - מסך איכות הנתונים (אופציונלי)

16. מסך 8 - מסך גרפים (אופציונלי)



איך נראה המדריך למשתמש?

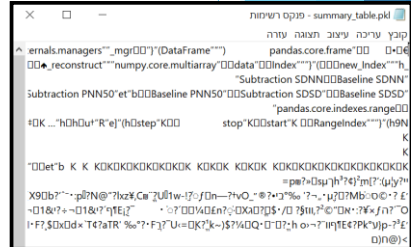
ניתן לראות כאן את ראשי הפרקים במדריך הכתוב ודוגמא להסבר על המסך הראשון

חבילת PICKLE

`pickle` — Python object serialization

Source code: [Lib/pickle.py](https://docs.python.org/3/library/pickle.html)

The `pickle` module implements binary protocols for serializing and de-serializing a Python object structure. "Pickling" is the process whereby a Python object hierarchy is converted into a byte stream, and "unpickling" is the inverse operation, whereby a byte stream (from a [binary file](#) or [bytes-like object](#)) is converted back into an object hierarchy. Pickling (and unpickling) is alternatively known as "serialization", "marshalling," [1] or "flattening"; however, to avoid confusion, the terms used here are "pickling" and "unpickling".



```
summary_dataframe = pandas.read_pickle(os.path.join(globals.main_path + "\\\" + "summary_table" + format))
dq_dataframe = pandas.read_pickle(os.path.join(globals.main_path + "\\\" + "data_quality_table" + format))
```