



אוניברסיטת בן גוריון בנגב

הפקולטה להנדסה

המחלקה להנדסת תעשייה וניהול

קורס מערכות לומדות וכריית נתונים

דוח מסכם פרויקט

**On-line anxiety level detection from biosignals: Machine learning based on a randomized controlled trial with spider fearful individuals**

מגישים:

מאיה ברסלאור, 208997379

איל ברימן, 316062702

ירדן עיני, 204371082

מרצה: פרופ' בעז לרנר

תאריך הגשה: 29/08/2024

עבודה זו הינה הרחבה והמשך למחקר של Ihmig ET EL (2020) [1] העוסקת במשימת קלסיפיקציה של ניטור לחץ בזמן אמת עבור נבדקים על סמך אותות פיסיולוגיים, כחלק משיטת טיפול בפוביות באמצעות חשיפה מבוקרת.

האותות הפיסיולוגיים שנמדדו הינם אות ECG (לב) ו-RSP (נשימה) והסיווג לרמות הלחץ שחווה כל נבדק בסשן חשיפות, הינו סובייקטיבי במדד שנע בין 1-4 כאשר 1 זו רמת לחץ נמוכה ו-4 זו רמת לחץ גבוה.

הנתונים הגולמיים הכילו אותות פיסיולוגיים של 56 נבדקים (דגימה של 100 הרץ), מהם ייצרנו 24 מאפיינים על סמך אגריגציות ומומנטים שונים כפי שמופיעים בספרות ובמאמר המקורי. לאחר מכן ביצענו התאמות נוספות במבנה הנתונים כך שיתאים למשימת סיווג מונחת זו.

בעבודה זו בחנו ראשית שלוש קבוצות סיווג: מנוחה (ללא חשיפה), רמת לחץ רגילה- 1-2 ורמת לחץ גבוה 3-4.

לאחר בחינת סטטיסטיקה תיאורית והרצת מספר מודלים ראשוניים הבנו כי קיימת חפיפה בהתפלגות הנתונים בין רמת לחץ רגילה לבין רמת גבוה ועל כן עברנו לבעיית קלסיפיקציה בינארית בה ניסנו לסווג האם נבדק מטופל בחשיפה (חוה רמת לחץ כלשהי) או נמצא במצב מנוחה.

בחנו מספר מודלים שונים תוך פיצול סט הנתונים לסט אימון (לאחר איזון סט האימון באמצעות SMOTE וביצוע CV לשם בחירת סט תת-המאפיינים הטוב ביותר ולשם כיוון היפר-פרמטרים) וסט בחינה.

המודל אשר נתן את התוצאות הטובות ביותר עבור בעיית הסיווג הבינארית הינו KNN ואנו חושבים שבחירת סקאלת דירוג לחץ שונה, או הסתמכות על סיווג שאינו סובייקטיבי הניתן על ידי המטופל, או הגדלת מספר הנבדקים ושימוש בכלים כמו RNN או LSTM, יוכלו לשפר את ביצועי הסיווג עבור 3 קבוצות.

## תוכן עניינים

2.....	תקציר
4.....	Business Understanding
4.....	Data Understanding
5.....	Data Preparation
9.....	Modeling
10.....	Evaluation
11.....	Summary, Discussion, and Conclusions
11.....	References
12.....	נספחים

## Business Understanding

אנשים רבים חווים לחץ הנובע מפחד עמוק בעקבות תופעה/אובייקט מסוים, פחד מסוג זה נקרא פוביה. פוביה היא מצב נפשי של פחד כרוני או מוגזם כתוצאה מאובייקט או ממצב כלשהו, המשבשים באופן ממשי את חיי הלוקה בו. מרבית האנשים הסובלים מפוביה מודעים לעובדה שהפחד שלהם הוא לא סביר ואינו מוצדק, אך אינם יכולים להתמודד עם פחד זה. על מנת לזהות חרדה אצל מטופלים אנו נרצה לזהות רמות פעילות של מערכת העצבים האוטונומית אשר מכינה את הגוף להתמודדות עם מצבי חרדה. מערכת העצבים האוטונומית (ANS) מייצרת תגובות פיזיולוגיות כגון פעילות לב ופעילות נשימתית. תגובות פיזיולוגיות חשובות להקשר למתח וחרדה יכולות להיגזר מאלקטרוקארדיוגרמה (ECG), פעילות אלקטרודרמיסית (EDA) ואות נשימה (RSP). ניתן להתרשם באיור 3 באיזה אופן כל מערכת עובדת. מטרת העל המחקרית הינה לייצר שיטת טיפול בפוביות (7.4% מהאוכלוסייה סובל מפוביה) על ידי חשיפת מבוקרת בעזרת צפייה הדרגתית בסרטונים בדרגות לחץ שונות של גורם הפוביה virtual realistic exposed therapy (VERT). מטרת הפרויקט הינה לייצר מערכת אשר משערכת את מידת הלחץ של המטופל על סמך מאפיינים פיזיולוגיים שלו (כגון: עלייה בדופק ונשימות שטוחות) ובהתאם לרמת הלחץ להגביר או להוריד את עוצמת החשיפה של גורם הלחץ.

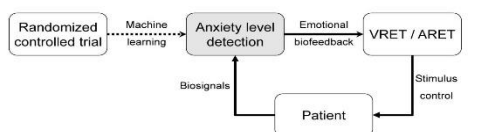


Fig 1. Closed-loop system architecture. Use of anxiety level detection to control stimulus intensity in the VRET/ARET setting enabling individualized treatment.

בפרויקט זה נרצה לעשות שימוש בעיבוד אותות חשמליים (רציפים על פי תדר גימיה) של מדדי נשימה ולב ולהפיק מהם מאפיינים שונים ורלוונטיים.

**איור 1:** לולאה סגורה של ארכיטקטורת המערכת

## Data Understanding

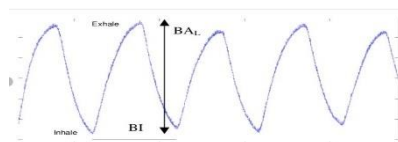
הנתונים שלנו מבוססים אותות חשמליים ולקוחים ממאמר של Ihmig ET EL. (2020) [1], אותות אלו נראים באופן הבא:



**איור 2:** אות ECG

אות ECG - מדידת פעילות לב (באמצעות אלקטרודות):

ציר X - זמן, ציר Y - מתח חשמלי (אמפליטודה - ככל שגדולה יותר ככה הפעילות השרירית של הלב חזקה יותר כאשר ללב 4 חלקים (עליות וחדרים) ולכל חלק עוצמה אחרת של פעילות).

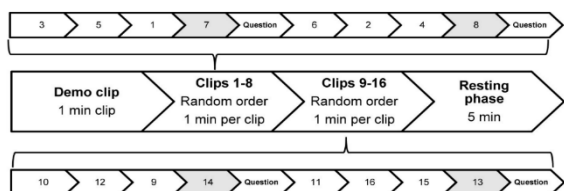


**איור 3:** אות RESPIRATION

אות RESPIRATION - מדידת נשימה (באמצעות רצועות):

ציר X - זמן, ציר Y - מתח חשמלי (אמפליטודה - ככל שגדולה יותר ככה הריאות מתרחבות יותר - שאיפה, וככל שקטן יותר - נשיפה).

מאגר הנתונים הכיל 56 אנשים בעלי פוביה מעכבישים בגילאי 18-40. כל מטופל ביצע את הניסוי באופן הבא: תחילה כל נבדק צפה בסרטון דמה למשך דקה. לאחר מכן מטופל ראה 8 סרטונים בסדר אקראי (מסרטון 1-8) כאשר משך כל סרטון הוא דקה ולאחר כל 4 סרטונים המטופל מילא שאלון המעיד על רמת החרדה שחווה במסגרת אותם 4 סרטונים. לאחר מכן כל מטופל צפה ב-8 סרטונים נוספים בסדר אקראי (מסרטון 9-16) וביצע מילוי שאלונים באותה צורה. לבסוף בוצעה מנוחה ללא צפייה בסרטונים למשך 5 דקות.



**איור 4:** פירוט מהלך הניסוי עבור כל נבדק

עבור כל נבדק ורצף של ארבעה סרטונים (4 דקות) נקבל דיווח של הנבדק על רמת הלחץ הסובייקטיבי בו הוא היה מצוי בסקאלה שבין 1 ל-4 כאשר 1 - רגוע ו 4 - לחץ מאוד. עבור כל נבדק תויג מתי החל לצפות בכל סרטון ומתי סיים. בנוסף עבור כל נבדק קיימת הקלטת אותות ECG ו RSP.

## Data Preparation

על מנת לעבד את האותות הפיזיולוגיים ולתייגם על פי דיווח הנבדקים, בוצעו מספר שלבים: תחילה, בוצע קיטוע של האות כך שעבור כל סרטון, נלקח מקטע של דקה מתחילת הצפייה בקליפ בתדר דגימה של 100 HZ כפי שמוצג בנוסחה הנ"ל: I מייצג את מספר הקליפ. J מייצג את מספר הנבדק.

$$Segment = Triggers[i][j] + 60 * sampling\ frequency$$

לאחר מכן בוצע סינון רעשים לכל אחד מהאותות. עבור אות ECG בוצע סינון High Pass על יד מסנן Butterworth מסדר 5 עבור תדר קיטעון 0.5 HZ ועבור אות RSP בוצע סינון Band-pass על יד מסנן Butterworth מסדר 3 עבור תדר קיטעון 0.1-0.4 HZ. כעת נעשה שימוש בטכניקות של Bio-Physical Signal Feature Extraction: עבור כל אות בוצע אלגוריתם לזיהוי פיקים אשר ממנו הופק שיעור דופק\שיעור נשימה ומרווחים בין פיקים עבורם חושבו מאפיינים סטטיסטיים ומאפיינים ייחודיים לכל אות (נספח 1 – נוסחאות המאפיינים).

Respiration	Electro-cardiogram
BRNmean	HRNmean
BRstd	HRstd
BRNPD	HRNPD
BRNSD	HRNSD
BRV	avNN
BRavNN	sdNN
BRsdNN	rMSSD
RSP Symmetry PeakTrough	PHRNN20
RSP Symmetry RiseDecay	PHRNN20
RSP Phase Duration Ratio	HRV MFDFA alpha1
RSP Phase Duration Expiration	Asymmetry
RSP Phase Duration Inspiration	HRV ShanEn
	HRV HTI

**איור 5:** המאפיינים שנלקחו מכל אות, כאשר 4 הראשונים (בעלי רקע אפור) הינם מאפיינים סטטיסטיים והשאר הם מאפיינים ייחודיים לכל אות

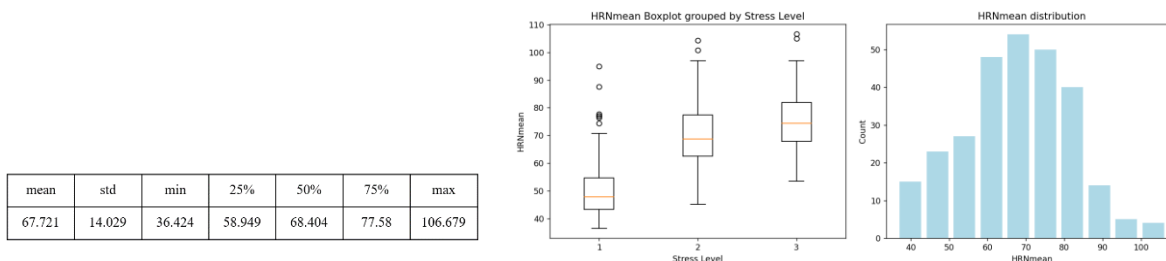
בנוסף בוצעה אגריגציה של האותות הפיזיולוגיים בכדי לנסות להתאימם בצורה ממושקלת לתיוג הנתונים. עבור כל נבדק ורצף של 4 סרטונים (4 דקות) ישנו אותו התיוג אך עם מאפיינים שונים (כל דקת סרטון נמדדת) והקלטת 3 הדקות האחרונות מתוך החמש דקות מנוחה (סה"כ 19 רשומות לכל נבדק). על כן הוחלט לעשות שימוש בשיטת אגריגציה ממושקלת לפי המיקום של הסרטון ביחס לקירבתו לתיוג הנבדק כאשר הסרטון אחרון יזכה למשקל הגבוה ביותר מבין 4 הסרטונים בעלי אותו תיוג מתוך הנחה שזהו הסרטון הזכיר ביותר לנבדק, מה שכנראה בעל ההשפעה הגדולה ביותר על

$$agg_{k,s,j} = \frac{1}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{i}} \cdot \sum_{i=1}^4 \frac{1}{5-i} \cdot row_{(i-1+s) \cdot k,j}$$

רמת הלחץ המדווחת על ידיו. את נוסחת אגריגציה זו ניתן לראות משמאל.

בנוסף הוחלט לבצע ממוצע רגיל על 3 השורות המייצגות מנוחה של נבדק מסוים. כעת לכל מטופל יש 5 תיוגים (תיוג אחד לכל רצף של ארבעה סרטונים ותיוג אחד לשלושת דקות המנוחה). כעת נעבור לסטטיסטיקה תיאורית והסברים אודות המאפיינים:

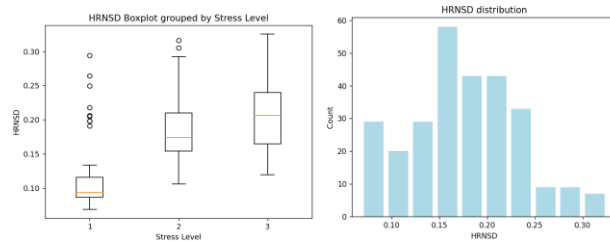
**HRNmean:** קצב לב ממוצע - מספר פעימות ממוצע לדקה. משתנה זה משקף את תפקוד הלב הכללי. טווח נורמלי: בין 60 ל-120 פעימות בדקה.



**HRstd:** סטיית התקן של קצב הלב – מודד את השונות בקצב הלב, ערכים נמוכים יותר מצביעים על פחות שונות. טווח נורמלי: משתנה רבות, בדר"כ נמוך יותר בתנאים יציבים יותר. (ויזואליזציות בנספח 2)

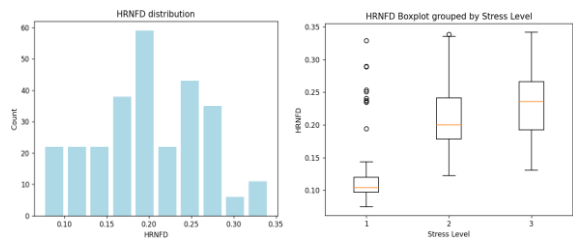
**HRNSD**: סטיית התקן המנורמלת של הלב – עושים שימוש בסטיית התקן המנורמלת של קצב הלב כדי לתת ייחוס להבדלים בין-אישיים.

mean	std	min	25%	50%	75%	max
0.175	0.056	0.068	0.139	0.173	0.216	0.325



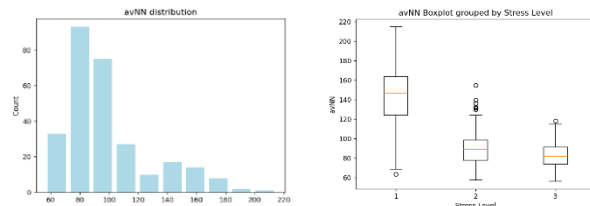
**HRNFD**: מדד פרקטלי מנורמל של קצב הלב- מודד את מורכבות דפוסי קצב הלב, המצביע על דמיון עצמי ותכונות פרקטיות של סדרת הזמן של קצב הלב.

mean	std	min	25%	50%	75%	max
0.199	0.061	0.074	0.159	0.198	0.246	0.341



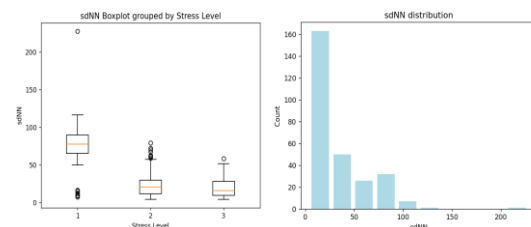
**avNN**: הזמן הממוצע בין פעימות לב עוקבות. רווחים ארוכים יותר מצביעים על קצב לב נמוך יותר. טווח נורמלי: 600-1000 מילי-שניות, תלוי בקצב הלב הממוצע.

mean	std	min	25%	50%	75%	max
98.614	29.83	56.305	77.898	89.899	107.063	214.628



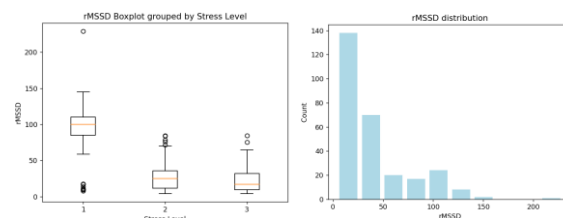
**sdNN**: סטיית התקן של הזמן בין פעימות עוקבות. מדד זה הוא מדד נפוץ אשר מציג את וריאביליות קצב הלב הכוללת. טווח נורמלי: 50-150 מילי-שניות.

mean	std	min	25%	50%	75%	max
33.166	29.278	4.204	11.793	22.252	48.304	227.589



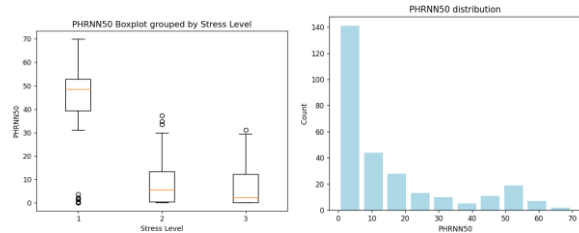
**rMSSD**: שורש ממוצע ריבועי ההבדלים העוקבים בין פעימות לב רגילות, נמדד במילי-שניות. מודד וריאציות קצרות-טווח בקצב הלב. ערכים גבוהים יותר מצביעים על פעילות פאראסימפתטית. טווח נורמלי: 20-50 מילי-שניות.

mean	std	min	25%	50%	75%	max
39.311	36.145	4.157	11.996	26.714	50.891	229.12



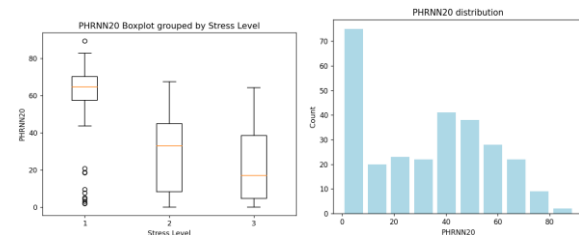
**PHRNN50**: היחס בין 50 פעימות לב עוקבות למספר הכולל של פעימות לב עוקבות. כאשר אחוז מרווחי פעימות הלב העוקבות נבדלות זו מזו ביותר מ-50 אלפיות השנייה, ניתן להעיד על פעילות פאראסימפתטית. טווח נורמלי: 15%-1%.

mean	std	min	25%	50%	75%	max
14.445	17.796	0	0.409	6.895	20.33	69.889



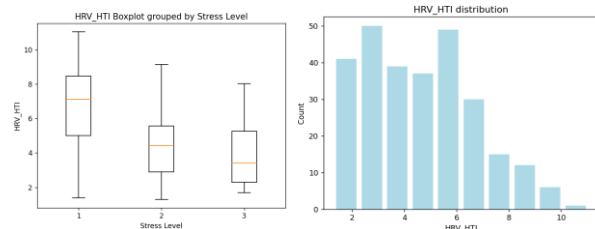
**PHRNN20**: היחס בין 20 פעימות לב עוקבות למספר הכולל של פעימות לב עוקבות. כאשר אחוז מרווחי פעימות הלב העוקבות נבדלות זו מזו ביותר מ-20 אלפיות השנייה, ניתן להעיד על פעילות פאראסימפתטית. טווח נורמלי: 15%-1%.

mean	std	min	25%	50%	75%	max
32.797	23.716	0	7.621	35.74	51.021	89.397



**HRV HTI**: אינדקס משולש של וריאביליות קצב הלב. מדד זה הוא מדד גיאומטרי של HRV המחושב מהתפלגות הצפיפות של הזמן בין שתי פעימות. טווח נורמלי: 20-40.

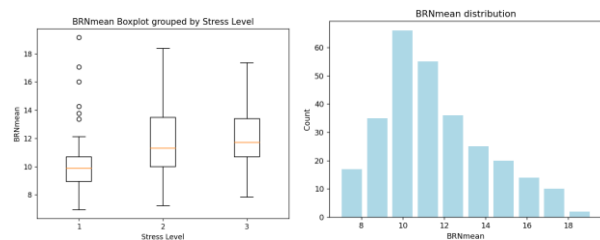
mean	std	min	25%	50%	75%	max
4.612	2.072	1.292	2.894	4.475	5.975	11.041



**HRV ShanEn**: אנטרופיית שנון של וריאביליות קצב הלב. מדד זה בוחן את המורכבות ואת אי הוודאות של סדרות הזמן של קצב הלב. טווח נורמלי: ערכים גבוהים יותר מצביעים על מורכבות גבוהה יותר. (ויזואליזציות בנספח 3)  
**HRV MFDFA\_alpha1 Asymmetry**: אי-סימטריה בניתוח רב-פרקטלי מנוון של HRV. מדד זה מנתח את תכונות מתן הסקאלה הפרקטליות ואת אי-הסימטריה בסדרות הזמן של קצב הלב, משקפות מנגנוני רגולציה מורכבים (ויזואליזציות בנספח 4).

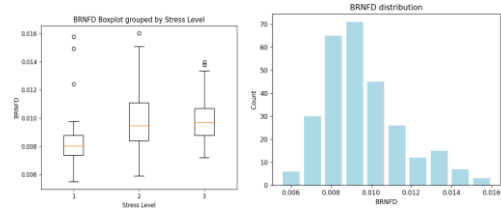
**BRNmean**: קצב נשימה ממוצע (לדקה) – הממוצע של מספר הנשימות לדקה, מצביע על תפקוד נשימתי. טווח נורמלי: 12-20 נשימות לדקה עבור מבוגרים.

mean	std	min	25%	50%	75%	max
11.554	2.518	6.933	9.796	11.013	13.127	19.155



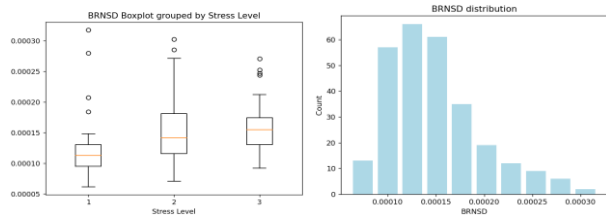
**BRstd**: סטיית התקן של קצב הנשימה – מודד את השונות בקצב הנשימה. ערכים נמוכים יותר מצביעים על נשימה יציבה יותר. טווח נורמלי: משתנה, בדרך כלל נמוך יותר בתנאים יציבים יותר ([ויזואליזציות בנספח 5](#)).  
**BRNFD**: מדד פרקטלי מנורמל של קצב הנשימה – מצביע על מורכבות דפוסי הנשימה.

mean	std	min	25%	50%	75%	max
0.009	0.001	0.005	0.008	0.009	0.01	0.016



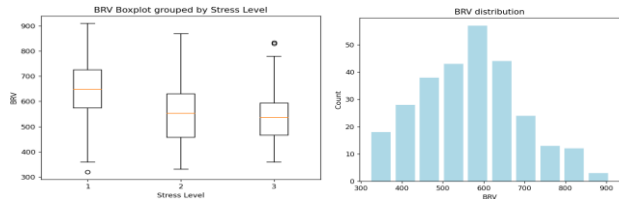
**BRNSD**: סטיית התקן המנורמלת של קצב הנשימה – משקף תנודות מנורמלות בקצב הנשימה.

mean	std	min	25%	50%	75%	max
0.00014	0.00004	0.00006	0.00011	0.00013	0.00017	0.0003



**BRV**: וריאביליות קצב הנשימה – מדד זה משקף את השונות בקצב הנשימה לאורך זמן. טווח נורמלי: ערכים גבוהים יותר מצביעים על שונות גבוהה יותר.

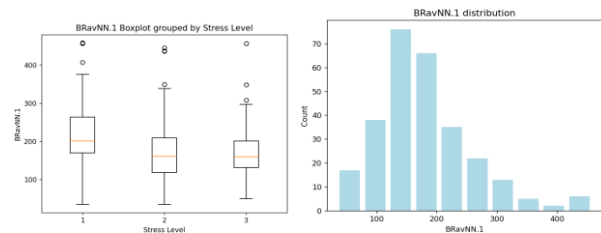
mean	std	min	25%	50%	75%	max
566.876	123.283	319.52	471.42	561.897	640.533	909.5



**BRavNN**: הממוצע של הזמן בין שתי נשימות (במילי-שניות). טווח נורמלי של מדד זה תלוי בקצב הנשימה הממוצע ([ויזואליזציות בנספח 6](#)).

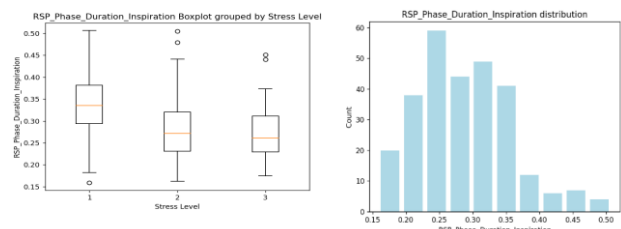
**BRavNN.1**: מדד נוסף של הזמן הממוצע בין שתי נשימות, ככל הנראה מחושב בדרך שונה.

mean	std	min	25%	50%	75%	max
179.258	79.692	34.034	129.136	166.071	216.843	458.328



**RSP Phase Duration Inspiration**: משך שלב השאיפה (בשניות) - הזמן הנדרש לחלק השאיפה של מחזור הנשימה. טווח נורמלי: בדר"כ 1-2 שניות.

mean	std	min	25%	50%	75%	max
0.288	0.069	0.158	0.234	0.282	0.332	0.506





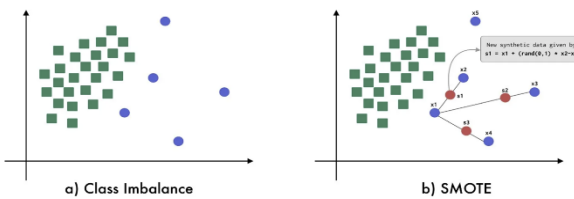
RSP Phase Duration Expiration: משך שלב הנשיפה (בשניות) – הזמן הנדרש לחלק הנשיפה של מחזור הנשימה. טווח נורמלי: בדר"כ 2-3 שניות, ארוך יותר בדר"כ מאשר השאיפה (ויזואליזציות בנספח 7).

RSP Phase Duration Ratio: היחס בין משך השאיפה למשך הנשיפה. טווח נורמלי: סביב 1:2 (שאיפה) (ויזואליזציות בנספח 8).

RSP Symmetry RiseDecay: הסימטריה בין שלבי העלייה והירידה של הנשימה – משקף את האיזון בין זמן העלייה (שאיפה) לזמן הירידה (נשיפה). טווח נורמלי: בדר"כ סימטריה גבוהה יותר (ויזואליזציות בנספח 9).

RSP Symmetry PeakT: הסימטריה בין השיא לשפל של מחזור הנשימה – משקף את האיזון בין הנקודות המקסימליות והמינימליות של מחזור הנשימה. טווח נורמלי: בדר"כ סימטריה גבוהה יותר (ויזואליזציות בנספח 10).

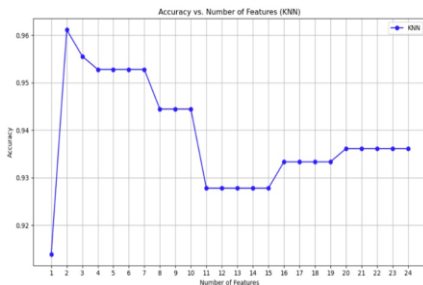
### יצירת סט אימון וסט בחינה:



בסיס הנתונים חולק 80% עבור אימון ו-20% עבור בחינה. איזון בסיס הנתונים: מכיוון שתיוג הנתונים מתבסס על הדיווח האישי של כל נבדק, נוצר בסיס נתונים לא מאוזן ביחס לכמות רמות הלחץ שדווחו. על כן בוצע איזון נתונים מסוג (Synthetic Minority Over-Sampling Technique) SMOTE בו נדגמו תצפיות נוספות מקבוצת המיעוט עד לאיזון בסיס הנתונים.

## **Modeling**

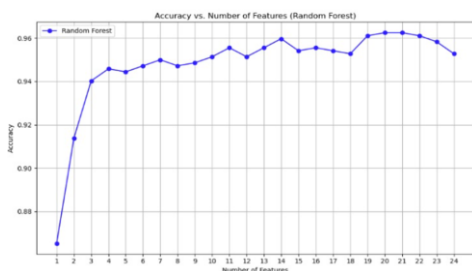
בוצעה חלוקה לסט אימות כחלק מתהליך בחירת המאפיינים על פי שיטת StratifiedShuffleSplit המשלבת את שיטת StratifiedKfold אשר מהווה וריאציה של K-Fold ומחזירה סט עם בעל אותו אחוז של דגימות מכל קבוצה של משתנה המטרה בקירוב, ושיטת ShuffleSplit אשר מערבבת את סט הנתונים ואז מחלקת אותו לאימון ואימות. עבור כל מודל בוצע בחירת מאפיינים בשיטת Sequential Feature Selector עם 10 פעמים cross validation עבור קריטריון 'accuracy'. בנוסף בוצע כוונון היפר פרמטרים על ידי grid search בשיטת K-fold כאשר  $K=10$  על מנת למקסם את הדיוק הממוצע של ביצועי כל מודל. בחנו ביצועים של מספר מודלים אך נציג ביצועים של שלושת המודלים הטובים ביותר: K-Nearest Neighbors, Random Forest, XG-Boost. בחירת המאפיינים ואת כיווןן היפר הפרמטרים, ובסוף נדון בתוצאות ובמסקנות.



### K Nearest Neighbors

עבור מודל זה ביצענו בחירת מאפיינים בדרך המתוארת לעיל על בסיס מדד הדיוק, וניתן לראות מתוך הגרף כי מספר המאפיינים המתאים ביותר הוא 2: PHRNN50 ו-rMSSd. לאחר מכן, ביצענו כיווןן של היפר-פרמטרים עבור מודל זה: מספר השכנים (נבדקו הערכים הבאים: 3,5,7,9,11,13), מרחק הערכים: אחיד, מרחק-שכן קרוב מקבל משקל גבוה) ומטריקה (נבדקו הערכים L1 norm ו-L2 norm).

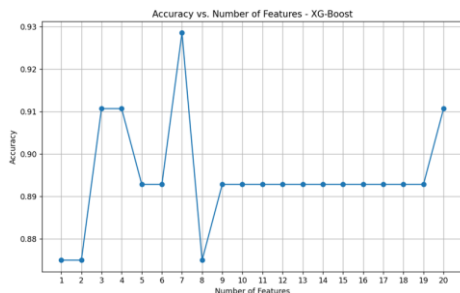
## Random Forest



עבור מודל זה ביצענו בחירת מאפיינים בדרך המתוארת לעיל על בסיס מדד הדיוק, וניתן לראות מתוך הגרף כי מספר המאפיינים המתאים ביותר הוא 19. המאפיינים שנבחרו הם: PHRNN50, rMSSD, sdNN, avNN, HRNFD, HRNmean, HRV\_MFDFA\_alpha1\_Asymmetry, HRV\_ShanEn, HRV\_HTI, PHRNN20, BRavNN, BRV, BRNSD, BRNFD, BRstd, BRNmean, RSP\_Phase\_Duration\_Ratio, RSP\_Phase\_Duration\_Inspiration, RSP\_Symmetry\_RiseDecay. לאחר מכן, ביצענו כיוונון היפר-

פרמטרים רלוונטים עבור מודל זה: מספר העצים (נבדקו הערכים: 100,200,300), עומק מקסימלי עבור העץ (נבדקו הערכים: 2,5,10,12), מספר דגימות מינימלי שנדרש עבור פיצול בעזרת צומת (נבדקו הערכים: 10,20,30), מספר דגימות מינימלי שנדרש עבור פיצול בעזרת עלה (נבדקו הערכים: 1,2,4), מספר המאפיינים המקסימלי בעץ (נבדקו הערכים: squared root, log2 of features).

## XG-Boost



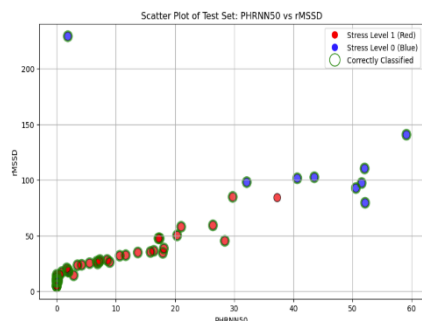
עבור מודל זה בוצעה בחירת מאפיינים בדרך המתוארת לעיל על בסיס מדד הדיוק, וניתן לראות כי מספר המאפיינים המתאים ביותר הוא 7. המאפיינים שנבחרו הם: BRstd, HRV\_ShanEN, HRV\_HTI, PRHNN50, HRNFD, HRNSD, RSP\_Symmetry\_PeakTough. לאחר בחירת המאפיינים ביצענו כיוונון להיפר-פרמטרים משמעותיים עבור מודל זה: כמות המאפיינים עבור כל עץ (נבדקו הערכים: 0.7,0.8,0.9,1.0), כמה כל עץ יתרום לחיזוי הסופי (נבדקו הערכים: 0.2,0.1,0.05,0.01), עומק מקסימלי (נבדקו הערכים: 3,4,5,6,7), כמות עצים שיבנו (נבדקו הערכים: 100,200,300,400), אופן חלוקת התצפיות עבור כל עץ (נבדקו הערכים: 0.7,0.8,0.9,1.0).

\*בחנו מספר מודלים נוספים ובניהם: DT, NN, SVM אשר הניבו תוצאות פחות טובות ולכן לא הוצגו בדו"ח, אך ניתן לראות אותם בקוד המצורף.

## Evaluation

Classifier	2 Classes				3 Classes		
	Features Number	Features	Accuracy [%]	F1 Score	Features Number	Accuracy [%]	F1 Score
KNN	2	rMSSD and PHRNN50	0.9464	0.9456	9	0.53	0.49
RF	19		0.8929	0.9333	23	0.56	0.51
XGBOOST	7	HRNSD, HRNFD, PRHNN50, HRV_HTI, HRV_ShanEn, BRstd, RSP_Symmetry_PeakTough	0.9286	0.8869	8	0.6429	0.6545

לאחר יישום המודלים עבור משתנה במטרה הבינארי (לחץ-1 לא לחץ-0) ולאחר בחירת המאפיינים וכיוון הפרמטרים



בכל מודל, בדקנו את מדד F1 של כל אחד מהמודלים על סט הבחינה ובטבלה שלעיל אנו מציגים את שלושת המודלים אשר הניבו את מדד F1 הגבוהה ביותר. בחרנו להתייחס למדד F1 מכיוון שעל אף שאיזו את סט האימון באופן מלאכותי באמצעות SMOTE, סט הבחינה נותר עדין לא מאוזן שכן יש יותר תצפיות שיסווגו 1 על פני תצפית שיסווגו 0 ועל כן מדד F1 ישקף באופן מדויק יותר את ביצועי המודל תוך התחשבות בחוסר האיוון הקיים בדאטה ("בעולם האמיתי"). ניתן לראות כי KNN בעל שני מאפיינים בלבד וקיבל את ציון ה F1 הטוב ביותר, ומכיוון שאלגוריתם זה מאפשר Explainability- במיוחד כאשר מספר המאפיינים הינו נמוך, אלגוריתם זה

עונה גם על צורך נוסף מעבר לחיזוי והוא הבנה של הגורמים המשפיעים ביותר על סיווג תצפית כ-1 או כ-0, גם מבחינה וויזואלית כפי שניתן לראות בגרף משמאל.

## Summary, Discussion, and Conclusions

בפרויקט זה ניסינו לחזות את רמת הלחץ המדווחת (בסקאלה של 1-4) על מקבץ סרטוני עכבישים של נבדקים המתמודדים עם פוביה מעכבישים, בהינתן האותות הפיזיולוגיים של הנבדקים כחלק ממחקר על טיפול בחשיפה לבעלי פוביות [1]. נבדקים אלו התבקשו לצפות בארבעה מקבצים של ארבעה סרטונים כאשר אחרי כל מקבץ התבקשו לדווח את רמת הלחץ שלהם ולאחר כל הסרטונים קיבלו מנוחה של 5 דקות אשר 3 דקות מתוכן נמדדו (כדי לוודא שהאות הפיזיולוגי נמדד לאחר 2 דקות של רגיעה מרצף הסרטונים בכדי לאפשר מדידה המשקפת מנוחה). האותות הפיזיולוגיים הינם תלויים בזמן ומכיוון שישנם רק 56 נבדקים (ועל כן הדאטה אינו רב), בחרנו לייצר אגריגציות שונות של האותות אליהם התייחסנו כאל משתנים שונים כפי שמופיע בספרות ובמחקר המקורי ממנו נלקח הדאטה. לאחר מכן ביצענו אגריגציות נוספות על מנת לייצר התאמה בין מספר האותות הפיזיולוגיים לבין הדיווח של כל נבדק שכן נבדק מדווח לחץ על ארבעה סרטונים אבל למעשה לכל סרטון מתבצעת מדידה (כלומר יופיעו ארבעה סרטונים עם אותות פיזיולוגיים שונים אשר יקבלו את אותו התיוג). בחרנו ראשית לייצר סיווג ל-3 קבוצות: מנוחה, לחוץ (דיווח רמת לחץ 1 או 2 על ידי הנבדק) ולחוץ מאוד (דיווח רמת לחץ 3 או 4 על ידי הנבדק) ולאחר שביצענו סטטיסטיקה תיאורית וניסינו להריץ כמה מודלים הבנו כי ישנה חפיפה גדולה בין דיווח רמת לחץ 1 או 2 לבין דיווח רמת לחץ 3 ו-4 ועל כן בחרנו לפשט את הבעיה ולהפוך אותה לבינארית- סיווג האם הנבדק לחוץ (רואה סרטון) או במנוחה. כעת קיבלנו תוצאות טובות הרבה יותר מאשר המקרה עם שלושת המחלקות כאשר המודל הטוב ביותר שיתקבל היה KNN.

## הצעות לשיפור:

(1) במידה וניתן יהיה להרחיב את מספר הנבדקים מעניין היה לנסות לעשות שימוש באותות הממוצעים (לכל ארבעה סרטנים-תיוג אחד) של כל נבדק ללא אגריגציה כלשהי כפי שבוצע בעבודה זו (ממוצע, שונות ושאר מומנטים מנורמלים), ולהכניס כל אות שכזה אל תוך רשת LSTM או RNN ולראות האם הסיווג לשלושת המחלקות היה משתפר. (2) במידה והיה ניתן לייצר שיטת דיווח אחרת אודות הלחץ החווה כל מטופל, שאינה מחייבת דיווח של רמת הלחץ עבור מקבץ של ארבעה סרטונים אלא עבור כל שני סרטונים (מכיוון שאחרי כל סרטון מטלה זו עלולה להפוך למייגע), היינו מקבלים דיווח ברזולוציה גבוה יותר, וכך התיוג של הלחץ על ידי הנבדק היה משקף נכון יותר את האותות הפיזיולוגיים שנמדדו. (3) דיווח של הלחץ על ידי הנבדק הינו סובייקטיבי ועלול שלא לשקף מהימנה את רמת הלחץ שהנבדק באמת חווה. על כן הגדלת סקאלת הלחץ מ-1-4 לסקאלה רחבה יותר יכולה לתת יותר חופש ביטוי לנבדק לדייק את רמת הלחץ שחוהה ובכך לייצר התאמה עם האותות הפיזיולוגיים הנמדדים. לסיכום, קיים עוד המשך מחקר רב לצורך סיווג רמת לחץ של נבדק על סמך אותות פיזיולוגיים בכדי להגיע בסופו של דבר לניתור רמת הלחץ המדויקת של אדם בעל פוביה בעת טיפול בחשיפה, אך עבודה ראשונית זו בצירוף ההמלצות הסופיות שלנו, ובצירוף המאמר שעליו אנו מתבססים עשויים לאפשר המשך מחקר מועיל ומעניין.

## References

- [1] Ihmig, F. R., Neurohr-Parakenings, F., Schäfer, S. K., Lass-Hennemann, J., & Michael, T. (2020). On-line anxiety level detection from biosignals: Machine learning based on a randomized controlled trial with spider-fearful individuals. *Plos one*, 15(6), e0231517.

## נספח 1 – נוסחאות לחישוב המאפיינים

- standard deviation of Normal-to-Normal intervals ( $sdNN$ ):

$$sdNN = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (NNI_n - avNN)^2} \quad (8)$$

- root Mean Square of Successive Normal-to-Normal interval Differences ( $rMSSD$ ):

$$rMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} (NNI_{n+1} - NNI_n)^2} \quad (9)$$

- successive Normal-to-Normal intervals that differ by more than 50 ms ( $NN50$ ):

$$NN50 = \#(NNI > 50ms) \quad (10)$$

- proportion of NN50 divided by the total number of Normal-to-Normal intervals ( $pNN50$ ):

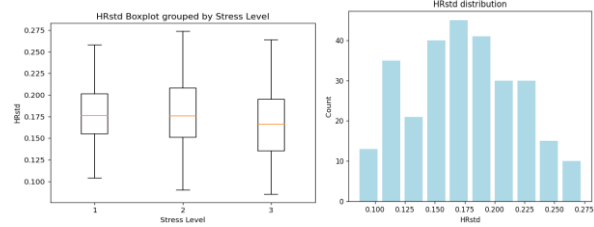
$$pNN50 = \frac{\#(NNI > 50ms)}{\#(NNI)} \quad (11)$$

- proportion of NN20 divided by the total number of Normal-to-Normal intervals ( $pNN20$ ):

$$pNN20 = \frac{\#(NNI > 20ms)}{\#(NNI)} \quad (12)$$

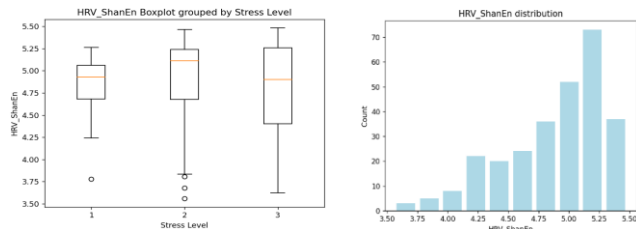
$$HR/BR : Nmean = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_n - \mu_t) \quad (13)$$

mean	std	min	25%	50%	75%	max
0.174	0.043	0.085	0.142	0.173	0.204	0.273



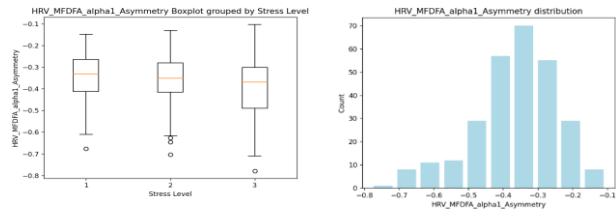
## נספח 3 – ויזואליזציות של HRV\_ShanEn

mean	std	min	25%	50%	75%	max
4.886	0.417	3.559	4.598	5.014	5.213	5.482



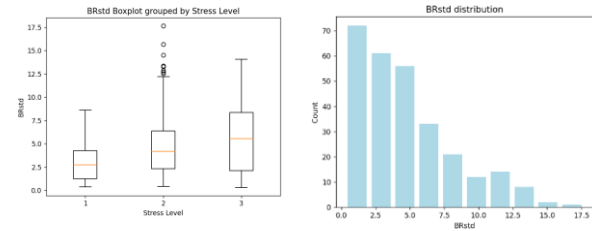
## נספח 4 – ויזואליזציות של HRV\_MFDFA\_alpha1\_Asymmetry

mean	std	min	25%	50%	75%	max
0.364-	0.12	0.779-	0.426-	0.352-	0.282-	0.103-



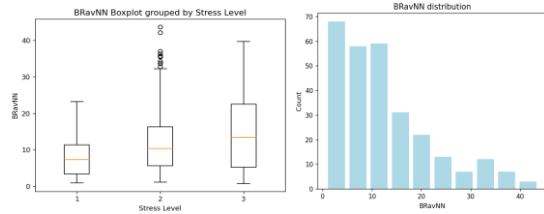
## נספח 5 – ויזואליזציות של BRstd

mean	std	min	25%	50%	75%	max
4.734	3.511	0.289	1.903	4.171	6.274	17.667



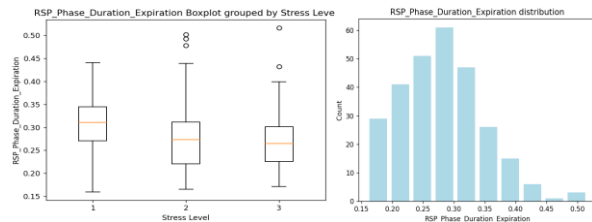
## נספח 6 – ויזואליזציות של BRavNN

mean	std	min	25%	50%	75%	max
12.347	9.459	0.698	5.073	10.201	15.849	43.74



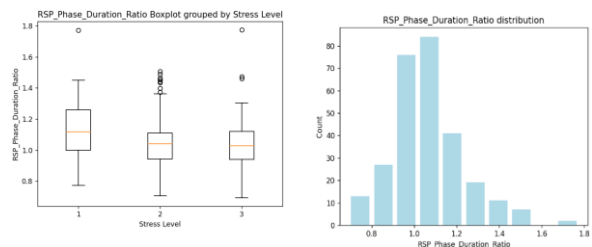
## נספח 7 – ויזואליזציות של RSP\_Phase\_Duration\_Expiration

mean	std	min	25%	50%	75%	max
0.28	0.067	0.159	0.23	0.278	0.316	0.516



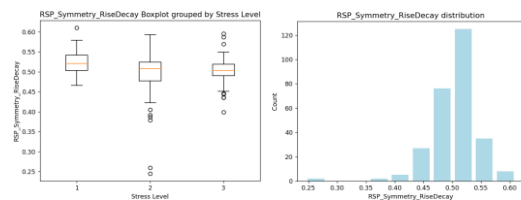
## נספח 8 – ויזואליזציות של RSP\_Phase\_Duration\_Ratio

mean	std	min	25%	50%	75%	max
1.062	0.170	0.692	0.947	1.044	1.144	1.775



## נספח 9 – ויזואליזציות של RSP\_Symmetry\_RiseDecay

mean	std	min	25%	50%	75%	max
0.503	0.042	0.244	0.484	0.508	0.526	0.61



## נספח 10 – ויזואליזציות של RSP\_Symmetry\_PeakTrough

mean	std	min	25%	50%	75%	max
0.502	0.044	0.224	0.482	0.506	0.529	0.607

