



Driving Research Laboratory

Department of IEM, Ben-Gurion University



דו"ח סופי בנושא המחקר:

**שיטות להתמודדות עם עייפות במהלך נהיגה
ממושכת**

פרופ' דוד שנער

ד"ר עדי רונן

פנינה גרשון

ד"ר טל אורון-גלעד - יועצת

עבור: קרן רן נאור

אפריל 2008



דו"ח מסכם: שיטות להתמודדות עם עייפות במהלך נהיגה ממושכת

אנו מודים לקרן רן נאור שעזרה לנו במימון מחקר זה ולמרכז פאול איווניר שתמך
ברכישת חלק מהציוד למעבדה.



תקציר

דו"ח זה מסכם מחקר מקיף שמטרתו הייתה לבחון את יעילותן של שיטות שונות לעיכוב תסמיני עייפות במהלך נהיגה ממושכת אשר במרבית המקרים מובילה את הנהג למצבי עייפות ואף הרדמות. מחקר זה כלל היררכיה של ארבעה שלבים, בה כל שלב מתבסס על השלב המחקרי הקודם לו. בחירת השיטות שנבחנו במחקר זה התבססה על סקירת ספרות נרחבת ומעמיקה וכן על מחקרים וסקרים קודמים שבוצעו בקרב נהגים מקצועיים ולא מקצועיים. המחקר התבצע במעבדה להנדסת גורמי אנוש במחלקה להנדסת תעשייה וניהול באוניברסיטת בן-גוריון כאשר מרביתו התקיים במעבדה המתקדמת להדמיית נהיגה תוך שימוש בסימולאטור נייח הנמצא במעבדה בהיקף כולל של מאות שעות סימולצית נהיגה. שימוש בסימולאטור ככלי מחקרי העניק לחוקרים שליטה מתודית על כלל משתני הניסוי והנהיגה. כך ניתן היה ליצור סביבת נהיגה מונטוזנית, המכילה מספר גירויים מצומצם ובאופן מהיר יחסית ליצור עייפות אפילו בקרב נהגים אשר החלו את הנהיגה ערניים לחלוטין. למערך מחקרי זה, היכולת לכמת באופן אמפירי את תוצאות המחקר, תוך שימוש במגוון שיטות מדידה הכוללות מדידה של איכות הנהיגה (סטיות מהנתיב, זמני תגובה למטלות משניות, מידת הטיות ההגה ועוד), שאלונים סובייקטיביים להערכת מצבו המנטאלי והפיזי של הנהג ומדידות פיזיולוגיות להערכת מידת הדריכות והעומס המנטאלי בו נמצא הנהג לאורך כל שלבי הנהיגה.

מטרת השלב הראשון במחקר הייתה לפתח מטלה משנית קוגניטיבית אינטראקטיבית חדשנית (ICT- Interactive Cognitive Task). מטלה משנית זו, התבססה על משחק אשר מטרתו יצירת אינטראקציה עם הנהג במהלך נהיגה ממושכת כדי לעכב תסמיני עייפות או לנסות לשמר ואף להעלות את מצב הערנות בו נמצא הנהג. המערכת סיפקה גירויים שמיעתיים על ידי השמעת שאלות מרובות ברירה לנהג כאשר לצורך מענה עליהן נדרש הנהג ללחוץ על כפתור הממוקם על ההגה (תגובה מוטורית). מערכת ה- ICT נבנתה תוך מחשבה מכוונת ליצור אינטראקציה עם הנהג אשר מעוררת תחושות של עניין ואתגר בביצוע המטלה, אך בד בבד לא דורשת מהנהג להסיט את מבטו ממסלול הנהיגה. מערכת ה- ICT הכילה חמישה נושאים שונים של שאלות, בכל נושא שלוש רמות קושי (קל, בינוני, קשה). המעבר בין רמות הקושי היה תלוי במידת ההצלחה בשלב הקודם. לאחר אפיון ובניית המערכת נכתבו 210 שאלות מרובות ברירה והתבצע דירוג רמת הקושי של השאלות בעזרת תיקוף השאלות. בנוסף שלב זה כלל ביצוע ניסוי פיילוט בקרב חמישה נבדקים כדי לבחון את המערכת לפני הרצתה בהיקף מלא. כל נבדק השתתף בסדרה של שלושה מפגשים, מפגש הכרות עם מערכות הניסוי ושני מפגשי ניסוי, מפגש ניסוי הכולל הפעלה של מטלת ה- ICT ומפגש ללא הפעלת מטלה זו. מניתוח תוצאות ניסוי הפיילוט הסתמנה השפעה חיובית של המערכת על כלל סוגי המדדים שנבדקו. הנבדקים דווחו כי חשו עניין רב בשימוש במערכת זו וכן חשו



מוטיבציה גבוהה להמשיך ולבצע את הנהיגה. במקביל נצפתה השפעה חיובית ורצויה על רמת עייפות הנבדקים שבאה לידי ביטוי בביצועי נהיגה טובים יותר בעת השימוש במערכת. המסקנות שהוסקו מחלק זה הצביעו על הפוטנציאל של מערכת ה-ICT כמערכת לעיכוב תסמיני עייפות והעלאת רמת הערנות במצב בו הנהג מתפקד תחת תת עומס או סביבה משעממת.

בשלב השני של המחקר יושמו המסקנות וההמלצות ונבנה פרוטוקול מחקר לבחינה מקיפה של יעילות הפעלת המטלה. בחלק זה נבחנו שני תנאים: שימוש במטלה משנית קוגניטיבית (ICT) במהלך נהיגה ממושכת של שעתיים ועשרים דקות ונהיגת ביקורת ללא מטלה משנית למשך פרק זמן זהה. בניסוי זה השתתפו עשרה נבדקים, כל נבדק השתתף בשלושה מפגשים: מפגש ראשון היה מפגש היכרות ושני המפגשים הנוותרים היו מפגשי ניסוי אשר התקיימו בשיטת איזון חוזר. בניסוי שכלל שימוש במערכת ה-ICT הופעלה המערכת פעמיים: הפעלה ראשונה לאחר 60 דקות מתחילת הנהיגה והפעלה שנייה לאחר 100 דקות מתחילת הנהיגה, כל פעם למשך 20 דקות רצופות. בכל הניסויים התבצעו מדידות ביצועי נהיגה, מדידות פיזיולוגיות וכן שימוש בשאלונים לצורך מדידה סובייקטיבית של תחושות הנבדקים. תוצאות ממדי איכות ביצוע הנהיגה והממד הפיזיולוגי הראו שלביצוע מטלת ה-ICT יש השפעה חיובית ומיידית על רמת הערנות של הנבדקים. השפעה זו באה לידי ביטוי בעליה בדריכות הפיזיולוגית (ירידה בשונות קצב הלב) בשילוב עם שיפור בממדי איכות הנהיגה. באופן כללי השפעת מטלת ה-ICT הייתה מקומית בלבד, ההשפעה ניכרה כל עוד ביצע הנבדק את המשימה אך היא נעלמה לחלוטין עם סיום המטלה. מייד עם סיום ביצוע מטלת ה-ICT חלה ירידה בממדי הביצוע והממדים המעידים על הדריכות הפיזיולוגית לרמה זהה לזו שנצפתה באותם השלבים של הנהיגה במצב הביקורת. אולם, מבחינה סובייקטיבית דיווחו הנבדקים כי היה להם קל יותר להשלים את הנהיגה בניסוי בו המערכת הופעלה תוך תחושת מוטיבציה גבוהה להצליח במשחק. מתוצאות שלב זה ניתן להסיק שבתנאי דרך מונוטוניים ומשעממים הפעלה של מטלה קוגניטיבית, המעוררת מוטיבציה ויוצרת אינטראקציה עם הנהג במהלך נהיגה יכולה לעכב תסמיני עייפות, להעלות את הערנות ולהוביל לנהיגה בטוחה יותר לפחות למשך הזמן בו המטלה מופעלת.

מטרת השלב השלישי במחקר הייתה להשוות בין שיטות שונות שנועדו לעיכוב תסמיני עייפות ולהעלאת רמת הערנות בהתאם לידוע מסקר הספרות ומחקרים קודמים ולהשוות שיטות אלו ליעילות המטלה הקוגניטיבית ה-ICT. שלב כלל פיילוט על שלושה נבדקים. לאחריו בוצע הניסוי העיקרי בו השתתפו 15 נבדקים. כל נבדק השתתף בסדרה של חמישה מפגשים ובכל מפגש ניתן לנבדק טיפול שונה. המפגש הראשון נועד להכרות. לאחריו נערכו ארבעה מפגשי ניסוי שכללו את הטיפולים הבאים: שתיית משקה אנרגיה, ביצוע מטלה משנית מוטורית פשוטה (פיצוח גרעינים), ביצוע מטלה משנית קוגניטיבית



(ICT) וניסוי ביקורת. סדר המפגשים השתנה בין נבדק לנבדק בהתאם לאיזון חוזר. במהלך מפגשי הניסוי בהם בוצעה מטלת ICT/פיצוח הגרעינים, נדרש הנבדק לבצע את המטלה לאחר שעה של נהיגה ולמשך 40 דקות רצופות. גם בניסוי זה נעשה שימוש בשלושה סוגי מדדים: מדדים פיזיולוגיים, מדדי ביצוע ומדדים סובייקטיביים.

התוצאות הראו שמשלושת המדדים שנבדקו למשק האנרגיה הייתה ההשפעה הגדולה ביותר: השפעתו החיובית התמשכה לאורך הניסוי כולו, הנבדקים היו ערניים פיזית באופן יחסי, ביצועי הנהיגה שלהם היו טובים וכן דיווחו הנבדקים על מידת עייפות כללית פחותה בהשוואה למצב הביקורת. פיצוח הגרעינים במהלך הנהיגה הראה אף הוא, שיפור משמעותי בממד הפיזיולוגי. ערנותם של הנבדקים עלתה החל מרגע התחלת פעולת הפיצוח ועד סיומו. השפעה חיובית של הפיצוח נראתה גם בתוצאות הממד הסובייקטיבי, של תחושת ה"ישנוניות". כמו כן, דווחו הנבדקים כי חשו מוטיבציה גבוהה יותר לבצע את מטלת הנהיגה. למרות השפעה חיובית זו, לא נמצא הבדל מהביצועים במצב הביקורת. זאת ככל הנראה בשל התמורה המתקיימת בין ההתעסקות הידנית עם הגרעינים לבין היכולת לשמור על אחיזה טובה של ההגה. מטלת ה-ICT אשר הופעלה ברציפות במשך 40 דקות (משך זמן כפול מאשר בשלב השני) הראתה יעילות מובהקת בכל שלושת סוגי המדדים. הנבדקים דיווחו כי מטלת ה-ICT יוצרת עניין, מאתגרת מנטאלית ומספקת מוטיבציה להמשיך ולבצע את מטלת הנהיגה. בנוסף, לאורך כל משך ביצוע מטלת ה-ICT ביצועי הנהיגה היו טובים יותר מאשר במצב הביקורת. גם בממד הפיזיולוגי נצפתה השפעה חיובית של ה-ICT ביחס לביקורת. המסקנה משלב זה הייתה שבמטלת ה-ICT גלום הפוטנציאל הרב ביותר לעיכוב תסמיני עייפות בנהיגה ממושכת, כאשר הנהג שרוי במצב של תת-עומס ונוהג בתנאים משעממים ומונוטוניים. השיטה השנייה ביעילותה בהתייחס לכלל המדדים הייתה צריכת משקה האנרגיה אשר הראתה השפעה חיובית מתמשכת במדדי איכות ביצועי הנהיגה וכן בממד הפיזיולוגי, אך מבחינה סובייקטיבית נתפסה בקרב הנבדקים כמועילה פחות מאשר מטלת ה-ICT.

לאור תוצאות אלו בשלב הרביעי נבחנה השפעת שילוב שתי השיטות שנמצאו בשלב הקודם כיעילות ביותר בעיכוב תסמיני העייפות בהשוואה לשיטה הבודדת שנמצאה כיעילה ביותר בשלב הקודם. לצורך ביצוע שלב זה, הוספו ל ICT נושאים ושאלות כדי להגדיל את מאגר השאלות הקיים (ולמנוע חזרה על שאלות כיוון שהמשתתפים הפעילו בשני ניסויים שונים את המטלה). נכתבו 96 שאלות נוספות בנושא תחבורה אשר עברו תהליך של תיקוף וקביעה של רמת קושי בקרב כ-200 נשאלים (תהליך דומה לזה המתואר בשלב הראשון).

הניסוי האחרון כלל 4 מפגשים: מפגש היכרות ושלושה מפגשי ניסוי אותו השלימו בהתאם לפרוטוקול 20 נבדקים. מפגשי הניסוי כללו את הטיפולים הבאים: שילוב של שתיית משקה אנרגיה וביצוע מטלה משנית (ICT), ביצוע המטלה המשנית הקוגניטיבית



(ICT) בלבד וניסוי ביקורת. תוצאות שלב זה הראו השפעה חיובית של מטלת ICT על המדדים הפיזיולוגיים והסובייקטיביים ביחס למצב הביקורת דבר התואם את התוצאות הקודמות. במדדי הביצוע התקבלה השפעה חיובית, נקודתית של מטלת ה-ICT ומייד עם תום הפעלת ה ICT חזרה איכות הנהיגה לרמה שנצפתה במצב הביקורת. לשילוב שתי השיטות (משקה אנרגיה והפעלת המטלה) הייתה השפעה חיובית, משמעותית וחזקה, שבאה לידי ביטוי בביצועי הנהיגה, בתחושות הסובייקטיביות ובמצבם הפיזיולוגי של הנבדקים. לאורך כל ניסוי זה מידת הסטיות מהנתיב הייתה נמוכה באופן משמעותי בהשוואה למצב הביקורת. בעת ביצוע מטלת ICT (לאחר 60 דקות נסיעה) מידת הסטייה ממרכז הנתיב הייתה נמוכה יותר מאשר בתחילת הניסוי כאשר הנבדקים עדיין היו ערניים. גם שונות קצב הלב הראתה שבמצב אשר כלל את שילוב הטיפול, הנבדקים שמרו על דריכות פיזיולוגית הזזה בעוצמתה למצבם בתחילת הניסוי ולא צברו עייפות (כפי שהתבטאה בממד הפיזיולוגי). מכאן שלשילוב השיטות הייתה השפעה גבוהה יותר על שמירת הערנות מאשר לכל שיטה באופן נפרד. גם התחושות הסובייקטיביות של העייפות הכללית, מחסור באנרגיה, ותחושת חוסר מוטיבציה היו נמוכות יותר במצב ששילב שתיית משקה אנרגיה עם הפעלה של מטלת ה-ICT. לסיכום, תוצאות השלבים השונים של המחקר הנוכחי מצביעות על היכולת של שיטות שונות כגון הפעלת מטלה משנית קוגניטיבית אטרקטיבית ושתיית משקה אנרגיה (ובמיוחד השילוב ביניהן) להעלות את ערנותם של הנהגים במהלך נהיגה ממושכת בתנאי דרך מונוטוניים לפרק זמן מסוים. אין ספק כי הדרך היעילה ביותר למנוע את הסכנות הכרוכות בעייפות והרדמות במהלך נהיגה הינה לא לנהוג כאשר חשים עייפים ואם בוחרים להמשיך לנהוג, לעצור בצד לתנומה קצרה מיד עם תחושת העייפות הראשונית. יחד עם זאת, נהגים רבים ממשיכים לנהוג בכל זאת תוך שימוש בשיטות שונות לשמור הערנות בהנחה שיצליחו להשלים את הנהיגה עד הגיעם ליעדם. בהתאם לכך, ישנה חשיבות לבחינת השיטות השונות שנבדקו כאן כדי להבין את מגבלותיהן ואת יעילותן ולבחון כיצד ובאילו תנאים ניתן להשתמש בהם במהלך נהיגה ממושכת כפי שבוצע במחקר הנוכחי.



תוכן עניינים

12	רקע.....
27	כלים ושיטות כלליות לכלל המחקרים והניסויים.....
27	המערכת הניסויית.....
27	סימולטור נהיגה.....
28	חדר בקרה.....
29	איסוף נתונים.....
29	מדדים פיזיולוגיים.....
30	מדדי איכות ביצועי הנהיגה.....
30	מדדים סובייקטיביים.....

שלבי המחקר

שלב ראשון: תכנון ופיתוח מטלה משנית קוגניטיבית אינטראקטיבית וביצוע ניסוי ראשוני – שלב

32	"פיילוט".....
33	תכנון ופיתוח מטלה משנית קוגניטיבית (Task-ICT Interactive Cognitive).....
33	אפיון המערכת.....
33	כתיבה ובדיקת התוכנה.....
33	כתיבה ותיקוף השאלות.....
34	הערכה ובחינה של מערך ניסוי ראשוני – שלב "פיילוט".....
34	שיטה.....
35	מדדים סובייקטיביים.....
35	פרוטוקול הניסוי.....
37	תוצאות.....
37	מדדי ביצוע.....
37	מדד סובייקטיבי - SOFI.....
38	מדד פיזיולוגי - HRV.....
39	מסקנות שלב ראשון – שלב "הפיילוט".....

שלב שני: יעילות ביצוע מטלה קוגניטיבית בעיבוד תסמיני עייפות בנהיגה.....

40	תקציר.....
41	התאמות שבוצעו בעקבות מסקנות שלב הפילוט.....
41	תיקוף שאלות מערכת ICT.....
41	שדרוג מערכת ה-ICT.....
43	עדכונים במערך הניסוי.....
44	שיטה.....
45	פרוטוקול הניסוי.....
46	תוצאות.....
46	מדדי ביצוע.....
48	מדד סובייקטיבי - SOFI.....
49	מדד פיזיולוגי - HRV.....
50	דיון.....
51	מסקנות.....

שלב שלישי: השוואה יעילות שיטות שונות בעיבוד תסמיני עייפות בנהיגה ממושכת.....

53	שיטה.....
54	מערכות נוספות.....
54	איסוף וניתוח נתונים.....
55	פרוטוקול הניסוי.....
57	תוצאות.....
57	מדדי ביצוע.....
59	מדד סובייקטיבי - SOFI.....
60	מדד פיזיולוגי - HRV.....
61	דיון.....
62	מסקנות.....

שלב רביעי: בחינת יעילות השילוב בין שתי השיטות המובילות והשיטה שנמצאה יעילה ביותר.....



65	בחינת יעילות השילוב בין מטלה קוגניטיבית וצריכת משקה אנרגיה אל מול יעילות ביצוע מטלה קוגניטיבית כמעכבי עייפות במהלך נהיגה ממושכת
65	שיטה
67	פרוטוקול הניסוי
68	תוצאות
68	מדדי הביצוע
71	מדדים הסובייקטיביים
73	מדד פיזיולוגי – HRV
74	דיון
76	סיכום כללי
81	המלצות למחקרי המשך
83	רשימת מקורות
91	נספחים
91	טבלאות נתונים סטטיסטיים: שלב שני
91	מדדי ביצוע
91	מדד פיזיולוגי
92	טבלאות נתונים סטטיסטיים: שלב שלישי
92	מדדי ביצוע
93	מדד פיזיולוגי
93	טבלאות נתונים סטטיסטיים: שלב רביעי
93	מדדי ביצוע
94	מדד פיזיולוגי



רשימת תרשימים

14	תרשימים 1: מודל U של לחץ וביצוע (HANCOCK & WARM, 1989)
	תרשימים 2: דירוג יעילותם נתפסת של שיטות לשמירה על ערנות (NORDBAKKE S. & SEGBERG F., 2007)
18	
28	תרשימים 3: מחשב הסימולטור והממשק האינטראקטיבי אליו מחובר
28	תרשימים 4: מכונית הסימולטור וזווית הראיה של הנהג
29	תרשימים 5: מסכי מעקב של חדר הבקרה
	תרשימים 6: דוגמא למסלול הנהיגה
36	תרשימים 7: מהלך הניסוי, מפגש ביקורת
37	תרשימים 8: מהלך הניסוי, מפגש הפעלת מערכת ICT
37	תרשימים 9: שונות הסטיות מהנתיב, כפונקציה של סוג טיפול
38	תרשימים 10: תוצאות שאלון SOFI
38	תרשימים 11: דוגמה לשונות כללית של קצב לב, עבור נבדק אחד
42	תרשימים 12: מערכת ה- ICT מותקנת על הגה הסימולטור
42	תרשימים 13: מסך קונפיגורציה של מערכת ה- ICT
43	תרשימים 14: מסך מערכת ה- ICT בזמן בדיקות
43	תרשימים 15: מסך מערכת ה- ICT בזמן ניסוי
45	תרשימים 16: מהלך הניסוי, מפגש ביקורת
46	תרשימים 17: מהלך הניסוי, מפגש הפעלת מערכת ICT
46	תרשימים 18: השוואה של ממוצע שונות המיקום בנתיב בין ניסוי ביקורת לניסוי טיפול
47	תרשימים 19: השוואה של ממוצע שונות במהירות הנדרשת בין ניסוי ביקורת לניסוי טיפול
48	תרשימים 20: השוואה של ממוצע הטיית ההגה בין ניסוי ביקורת לניסוי טיפול
49	תרשימים 21: תוצאות ממוצע שאלון סובייקטיבי SOFI (N=10)
50	תרשימים 22: תוצאות ממוצע שונות קצב הלב (N=10)
55	תרשימים 23: מהלך הניסוי, מפגש ביקורת
55	תרשימים 24: מהלך הניסוי, מפגש הפעלת מערכת ICT
56	תרשימים 25: מהלך הניסוי, מפגש הכולל שתיית משקה אנרגיה
56	תרשימים 26: מהלך הניסוי, מפגש הכולל מטלה מוטורית פשוטה
58	תרשימים 27: השוואה של ממוצע שונות המיקום בנתיב בין ניסוי ביקורת לניסוי טיפול
59	תרשימים 28: תוצאות ממוצע שונות הטיית ההגה (N=15)
60	תרשימים 29: תוצאות שאלון SOFI
	תרשימים 30: שונות קצב לב, כפונקציה של מטלה מוטורית פשוטה, הפעלת ה- ICT, שתיית משקה אנרגיה
61	וללא טיפול
67	תרשימים 31: מהלך הניסוי, מפגש ביקורת
67	תרשימים 32: מהלך הניסוי, מפגש הפעלת מערכת ICT
68	תרשימים 33: מהלך הניסוי, מפגש הפעלת מערכת ICT ומשקה אנרגיה
	תרשימים 34: סטיית התקן של מיקום הרכב בנתיב כפונקציה של סוג טיפול (ICT, משקה אנרגיה ו ICT או ללא טיפול)
69	
	תרשימים 35: סטיית התקן של מהירות הנסיעה הממוצעת כפונקציה של סוג טיפול (ICT, משקה אנרגיה ו ICT או ללא טיפול)
70	



תרשים 36 : סטיית התקן של הטיות ההגה כפונקציה של סוג טיפול (ICT, משקה אנרגיה ו ICT או ללא טיפול).....	71
תרשים 37 : תוצאות שאלון ה SOFI.....	72
תרשים 38 : תוצאות שאלון ה NASA-TLX.....	72
תרשים 39 : ממוצע שונות קצב הלב כפונקציה של סוג טיפול (ICT, משקה אנרגיה ו ICT או ללא טיפול).....	74



רשימת טבלאות

טבלה 1 : שונות ממוצעת של המיקום בנתיב.....	91
טבלה 2 : שונות מהמהירות הממוצעת:.....	91
טבלה 3 : שונות ממוצעת של הטיית ההגה	91
טבלה 4 : שונות קצב לב (HRV):.....	91
טבלה 5 : שונות ממוצעת של המיקום בנתיב.....	92
טבלה 6 : שונות ממוצעת של הטיית ההגה	92
טבלה 7 : שונות קצב לב (HRV)	93
טבלה 8 : שונות ממוצעת של המיקום בנתיב.....	93
טבלה 9 : שונות מהמהירות הממוצעת:.....	94
טבלה 10 : שונות ממוצעת של הטיית ההגה	94
טבלה 11 : שונות קצב לב (HRV).....	94



רקע

תאונות הדרכים הינן גורם מוביל לתמותה בכלל המדינות המתועשות בעולם ומסיכום כולל עולה כי בשנת 2000 נהרגו כ- 1.26 מיליון אנשים ברחבי העולם כתוצאה מתאונות אלו (Broughton et al., 2003). ארגון הבריאות העולמי (WHO) מעריך כי בשנת 2020 אחוז הנפגעים מתאונות הדרכים בעולם יגדל לכ- 8.4 מיליון נפגעים ועלותן הכוללת תהווה מ- 1% ועד 2% מהתל"ג במדינה כלומר הערכה עולמית של 518 ביליון דולר כל שנה (Donoho, 1996). ניתוח תאונות הדרכים בארה"ב מעלה כי כמות הנפגעים בתאונות דרכים בשנה, גדולה מהתמותה עקב שתי המחלות המובילות בעולם גם יחד, מחלות לב וסרטן. מ- 1928 ועד 1988 נהרגו בארה"ב למעלה מ- 2.5 מיליון אנשים בתאונות דרכים, כאשר בין השנים 1977 - 1988 נהרגו יותר אנשים בתאונות דרכים מאשר אלו שנהרגו בכל מלחמות ארה"ב גם יחד (Donoho, 1996). בישראל, בין השנים 2004 - 2007, היו למעלה מ- 17,000 תאונות דרכים עם נפגעים מידי שנה, ומעל ל- 30,000 כלי רכב היו מעורבים בתאונות אלו (הלמ"ס, 2006).

כאשר בוחנים את הגורמים המובילים לתאונות דרכים ניתן לראות כי קיימים שלושה מרכיבים עיקריים: (I) הגורם האנושי - נהגים ומשתמשי דרך אחרים (II) גורם התשתיות - כבישים (III) הגורם הטכנולוגי - כלי הרכב. מבין השלושה, הגורם האנושי נתפס כתורם העיקרי לתאונות דרכים. תאונות כתוצאה מנהיגה במצב של עייפות נובעות מהגורם האנושי בלבד (Khardi & Vallet, 1994).

מסקר שנערך בארה"ב בקרב למעלה מ- 4000 נהגים עולה כי, 37% מהנשאלים דיווחו שבזמן כל שהוא בחייהם נרדמו במהלך הנהיגה ויתרה מכך, 10% מהם דיווחו כי המקרה האחרון אירע להם בחודש הסמוך לביצוע הסקר. 33% מהנשאלים שדיווחו כי נרדמו במהלך ששת החודשים הקודמים לסקר, סטו מנתיבם לנתיב הנגדי או לשולי הכביש, ו- 19% גילו כי חצו את קו ההפרדה כאשר התעוררו (Royal, 2003). מסקר נוסף שנערך בארה"ב עולה כי 60% מהנהגים נהגו ברכב כשהם חשים עייפות, 4% מהם היו מעורבים בתאונות דרכים או ב"כמעט תאונה". 37% מהמשובים לסקר זה דיווחו כי נרדמו בנהיגה (אפילו לזמן קצר) לפחות פעם אחת במהלך שנת 2004 (Nabi et al., 2006).

על אף הנתונים המובאים בסקירה זו והמוצגים בספרות ובדוחות המשטרה יש לציין כי מספר התאונות המדווחות כתאונות שנגרמו כתוצאה מעייפות או הירדמות בנהיגה, הינו קטן כנראה מהספר האמיתי, לכן בדרך כלל לגורם זה מיוחס טווח תאונות רחב (באחוזים). לרוב, בתאונות הנגרמות בשל עייפות סיבה זו אינה מדווחת, הן כתוצאה מחוסר ראיות חותכות והן כתוצאה מחוסר מודעות הנהגים, שמעורבים בתאונה, לעובדה שנרדמו. על כן, סיווג תאונות דרכים כתאונות הנגרמות כתוצאה מעייפות לרוב נקבע על סמך מאפייני התאונה (תאונות בעלות דפוסים שחוזרים על עצמם) או על פי דיווח עדי



ראייה (McCartt et al., 2000). מאפיין מרכזי של תאונות הנגרמות עקב עייפות הינו סטייה מנתיב הנהיגה לנתיב הנגדי או לשולי הכביש. בהתייחס לדפוס זה, ועל פי נתוני משטרת ישראל בשנת 2006, סטייה מהנתיב היוותה גורם מרכזי (13%) מכלל הגורמים לתאונות דרכים קטלניות במדינת ישראל.

בכדי לחקור את תופעת העייפות בנהיגה יש תחילה להתייחס למושג הכללי שנקרא עייפות. עייפות הינה תופעה מורכבת אשר מוגדרת כמצב פסיכו-פיזיולוגי. מצב המאופיין בירידה ברמת הערנות והדריכות של האדם, אשר פוגע ביכולתו לבצע מטלה באופן מיטבי. בין תסמיניה נמנים: עליה בזמן תגובה, פגיעה בזיכרון, פגיעה ביכולת עיבוד מידע וקבלת החלטות, חוסר מוטיבציה להשקיע מאמץ, יעילות אישית נמוכה וחוסר נוחות סובייקטיבית (Desmond & Matthew, 2002). עייפות נחלקת לשני סוגים: הראשון, עייפות פיזית, הנגרמת בד"כ כתוצאה ממאמץ פיזי ומתבטאת באובדן היכולת להפיק כוח מקסימאלי מן השרירים. השני, עייפות מנטאלית, המתבטאת בעיקר בתחושת מחסור באנרגיה, חוסר מוטיבציה, ירידה ביעילות עבודה, פגיעה בזיכרון לטווח קצר וחוסר תשומת לב (Sallinen et al., 1998; Åhsberg et al., 2000).

באופן כללי, ההשלכות של עייפות בנהיגה באות לידי ביטוי בחוסר יכולת התמקדות, מהירות תגובה נמוכה ופגיעה ביכולת עיבוד המידע. כל אילו מובילים להתדרדרות הדרגתית בביצועי הנהג ופגיעה ביכולתו של הנהג להגיב בצורה אפקטיבית למצבי נהיגה רגילים או למצבי חירום (Lal & Craig, 2002).

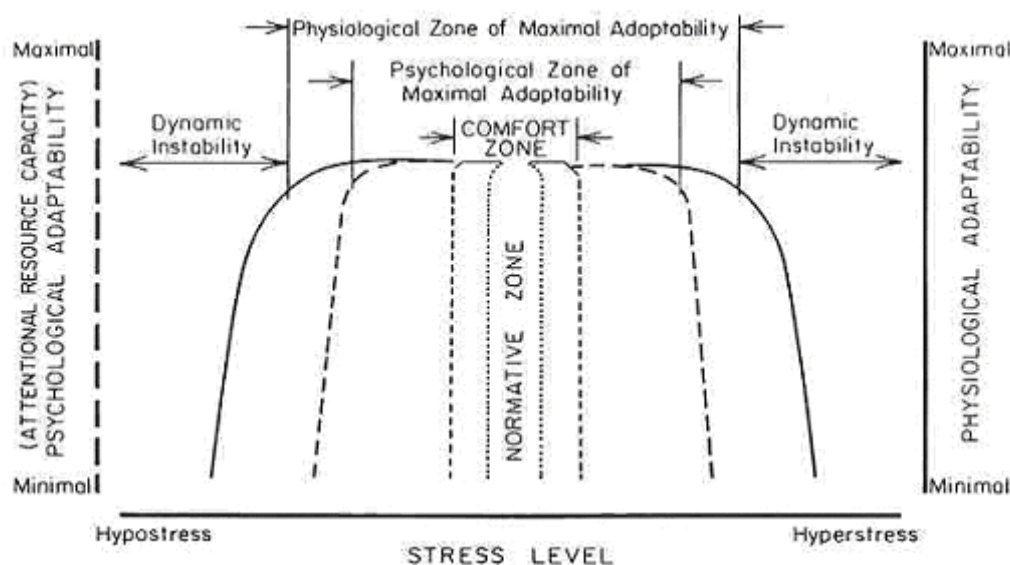
Thiffault et al. (2003) דנים במאמרם בגורמים לעייפות נהגים ועושים הבחנה בין גורמים הנובעים ממקור פנימי לבין אלו הנובעים ממקור חיצוני. הגורמים הנובעים ממקור פנימי כוללים שינויים צרקדיים הקשורים לשעה ביום, עייפות שנגרמה במהלך ביצוע פעולה ובעיות שינה למיניהן. שעות עבודה ארוכות, נהיגה בשעות לילה מאוחרות או אחר-הצהריים והפרעות בשינה הן כולן דוגמאות טובות לזרזים לעייפות הנובעת ממקור פנימי. לעומת זאת, מאפייני הכביש, סביבת צידי הדרך, וגורמים אחרים המגדירים את תהליך הנהיגה נקראים גורמים הנובעים ממקור חיצוני. הן גורמים הנובעים ממקור חיצוני והן אלו הנובעים ממקור פנימי עלולים לגרום לתגובות פיזיולוגיות המשפיעות על הערנות והדריכות. גורמים הנובעים ממקור פנימי וחיצוני באים באינטראקציה אחד עם השני, והשפעתם המשותפת היא זו שקובעת את רמת הערנות והדריכות בכל נקודת זמן במהלך הנהיגה. במאמר של Wijesuriya et al. (2006), צוין כי גם אישיותו של הנהג מהווה גורם המשפיע על נהיגה במצב עייפות. לדוגמא, אדם מוחצן יותר ומתוח, בעל רמות נמוכות של מרץ עם נטייה לבלבול וכעס, יהיה בעל סיכויים גבוהים יותר לחוות עייפות הקשורה לתהליך הנהיגה.

עם התפתחות הטכנולוגיה והתרחבות השימוש במערכות טכנולוגיות תוך-רכביות, הנהג מבצע פחות מטלות הדורשות פעולה פיזית (העברת הילוכים, הפניית מבטים ללוח



המכוונים) והנהיגה עצמה הופכת בעיקרה למטלה הצורכת משאבים מנטאליים המושפעת הן ממצבו הקוגניטיבי והן ממצבו הפיזיולוגי ההתחלתי של הנהג. בכדי לנסות ולהבין את עומס העבודה הכולל עמו מתמודד הנהג במהלך הנהיגה, חשוב להבין הן את העומס הפיזי הנוצר מתפעול המכונית והן את העומס המנטאלי הנוצר מהצורך לעבד את מידע ולקבל החלטות בהתאם לדרך בה הנהג נוהג, המרכיבים הסביבתיים והמטלות המשניות שעליו לבצע. העומס המנטאלי אותו חווה הנהג תלוי בין היתר בכמות וביכולת שלו להפנות קשב לביצוע המטלה.

Hancock & Warm (1989) אפיינו מודל המציג את מידת העומס כתלות של זמינות משאבים והקצאתם. המודל זה נקרא "מודלים דינאמיים של לחץ וקשב מתמשכים" (תרשים 1). בבסיסו עומד הרעיון של התאמת הקצאת משאבי קשב לדרישות המטלה. המודל מראה כי במטלות מורכבות, כדוגמת נהיגה, מתקיימת בקרה מתמשכת והתאמה של כמות המשאבים המנטאליים בהם נעשה שימוש. במקרים של רמת לחץ מתונה, יכול האדם לפצות על הדינאמיות שקיימת בסביבת העבודה ועדיין לבצע את המטלה באופן אופטימאלי. אולם, קיימים שני מצבים אחרים המאופיינים בחוסר יציבות וביצוע לקוי של המטלה. ראשון, מצב של עומס יתר בו עומס העבודה גבוה וכתוצאה ממחסור במשאבים יש ירידה ביכולת הביצוע ובמידת ההתאמה הפיזיולוגית הנדרשת. המצב שני הוא מצב של תת-עומס, בו נמצא האדם בתת-לחץ ונדרש למידה נמוכה של משאבי קשב. כתוצאה מכך מתקיימת פעילות נמוכה במערכת הפיזיולוגית העשויה גם היא להוביל לירידה באופן הביצוע. זאת מאחר שעייפות מפחיתה את יעילות הבחירה של אסטרטגיות אפשריות לויסות מאמץ.



תרשים 1: מודל U של לחץ וביצוע (Hancock & Warm, 1989)

Warm ו Hancock טוענים כי לאדם קשה יותר להסתגל למצב יתר עומס ותת-עומס, והסכנה הרבה הקיימת בעייפות הינה התאמה לקויה של מאמץ הדרוש לביצוע מוצלח של מטלה. הסתגלות לדרישות מטלה היא רלוונטית במיוחד בנהיגה, מכיוון שנהיגה



כוללת שינויים מהירים בעומס העבודה (Oron-Gilad & Hancock, 2005). לדוגמא, במהלך נהיגה קיימים מצבים המעלים את הסיכוי לעומס יתר, ביניהם נהיגה באזורים צפופים, נהיגה בסביבת נהגים לא מנוסים ובעלי מוגבלויות גופניות (קצרי ראייה לדוגמא), נהיגה בכבישים משובשים וכן נהיגה בתנאי קשים (Ronen, 2003).

מצב של תת-עומס תלוי בעיקרו במשך זמן ביצוע המטלה ובקצב האירועים בסביבתה. ביצוע מתמשך עלול להוביל לירידה ברמת הערנות ולחוסר תשומת לב (De Waard & Brookhuis, 1991). לנהיגה ממושכת בדרך מונוטונית ישנו הפוטנציאל לגרום לדעיכה ברמת הערנות של הנהג, אשר עלולה להוביל למצב של תת-עומס ועייפות. על כן, נהיגה בתנאי תת-עומס מעייפת אפילו נהג אשר היה ערני בתחילתה (Gershon et al., 2007). בניסוי שביצעו Desmond ו-Matthews (1997) נמצא כי כאשר נהגים עייפים נהגו בדרך תובענית וקשה (מעוקלת), הם הצליחו להתמודד עם הדרישות העולות מן הנהיגה. אולם כאשר הדרך הייתה קלה ופשוטה (ישרה), ביצועי הנהגים העייפים הידרדרו, כלומר הם לא הצליחו להשקיע מאמץ בצורה יעילה. תוצאות מחקר זה מלמדות כי באופן פרדוקסאלי נהגים עייפים נמצאים בסכנה גבוהה יותר, כאשר דרישות המטלה הינן נמוכות ומובילות למצב של תת-עומס. הוספת מטלה יכולה למנוע ניצול נמוך של מאמץ ולשמר את המחויבות האקטיבית של הנהג למטלת הנהיגה (Oron-Gilad et al., 2007).

תיאוריה נוספת אשר מנסה להסביר את אופן החלוקה של משאבי קשב והתאמתם לפעולה המורכבת ממטלות רבות הינה תיאורית המשאבים של Wickens (1992). תיאוריה זו טוענת כי לאדם כמות מוגבלת של משאבי קשב ועיבוד מידע. ירידה בביצוע היעיל של מטלה עלול להתרחש כאשר ישנו מחסור במשאבים הנדרשים לביצוע מטלה זו. כמו כן, רמת ביצוע המטלה מושפעת מיכולתו של המפעיל להקצות בצורה יעילה משאבים למטלות השונות. לדוגמא, נהג המצוי תחת עומס עבודה גבוה יצליח לשמור על שליטה אפקטיבית במכונית, אולם במחיר של ירידה ביעילות קליטה ועיבוד המידע המתקבל מסביבת הנסיעה (Oron-Gilad et al., 2007).

תיאוריה זו גורסת גם, כי קיימים מאגרים נפרדים ומוגבלים לערוצי קשב שונים. שימוש במאגר אחד לא בא על חשבון מאגר אחר, כאשר זמינותם של מאגרים הינה בלתי תלויה אחד בשני. מטלות שונות, צורכות משאבים ממאגרים שונים, לכן ביצוע מטלות המבוססות על ערוצי מידע שונים ינצל משאבים ממאגרים שונים ויאפשר ביצוע טוב של כלל המטלות. לדוגמא: מטלת הנהיגה מתבססת בעיקרה על הערוץ הוויזואלי, על כן על פי מודל זה הוספה של מטלות משניות, בתוך המכונית צריכות להתבסס על אמצעי קלט ופלט לא ויזואליים, כגון הספקת מידע שמיעתי בתגובה לפקודות קוליות מן הנהג (Oron-Gilad et al., 2007).



מטלה משנית נפוצה במהלך נהיגה הינה שימוש בטלפון הסלולארי. אחד מיתרונותיו הנתפסים של הטלפון הסלולארי הוא האפשרות לבצע שיחות תוך כדי נהיגה, וכך זמן שנתפס בעיניי הנהג "כמבוזבז" משמש עתה לביצוע שיחות עסקיות או חברתיות (Matthews et al., 2003). בסקר שנערך בשנת 2004, נהגים רבים הודו כי פספסו יציאות מהכביש, לא ראו שלטים לאורך הדרך, איבדו שליטה על מהירותם וחוו כמעט תאונות תוך שימוש בטלפון הסלולארי במהלך הנהיגה. אף אחד מהנהגים לא דיווח על תאונה אמיתית, אבל הערכה היא שכ- 10 - 20 מקרי מוות לשנה בשוודיה נגרמים כתוצאה משימוש בטלפון סלולארי בעת הנהיגה (Kelly et al., 2005).

ממחקרים רבים אשר בחנו תופעה זו עולה כי שיחת טלפון אחת במהלך נהיגה משלשת (בקירוב) את הסיכון לתאונה. סיכון זה אף מחמיר עם כל שיחת טלפון נוספת במהלך הנהיגה (Kelly et al., 2005). לכאורה, ממצאים אלו עומדים בסתירה לתיאורית המשאבים של Wickenss מאחר ושיחה בטלפון סלולארי אינה מעמיסה את הערוץ הוויזואלי בצורה רציפה. אולם, נמצא כי ישנם שני גורמים עיקריים אשר מגבירים את הסיכוי לתאונה בעת השימוש בטלפון הסלולארי: הגורם הראשון הינו תחרות, רגעית אך קריטית, על משאבים ויזואליים ופיזיים בין נהיגה להפעלת הטלפון. במהלך ביצוע שיחה טלפונית על הנהג להוריד את עיניו מן הכביש באופן זמני. הגורם השני הינו תחרות קוגניטיבית על המשאבים הדרושים לניהול שיחת הטלפון ובין המשאבים הדרושים לנהיגה. יכולתו של האדם להפנות קשב בו זמנית לשתי המטרות מוגבלת ודורשת מאמץ מודע (Matthews et al., 2003). על כן, שימוש בדיבורית מצמצם את הגורם הראשון המגביר את הסיכוי לתאונה, אך אינו משפיע (מצמצם) על הגורם השני. חשוב לציין כי השימוש בטלפון סלולארי יפריע למהלך נהיגה תקין, כאשר הנהיגה הינה תובענית (דרך מעוקלת, מהירות משתנה ועוד) או במהלך שיחת טלפון תובענית, כלומר כאשר הנהג נמצא במצב של עומס יתר (Matthews et al., 2003).

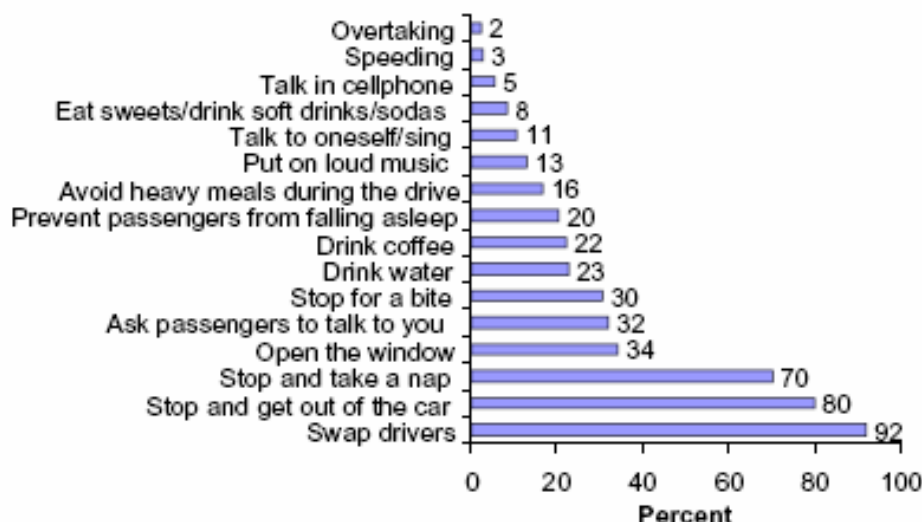
אם כן, מדוע נהגים עייפים ממשיכים לנהוג על-אף הסכנה הברורה? מחקרים קודמים שבחנו נושא זה, יצאו מנקודת הנחה שחוסר מודעות למצבי עייפות הוא גורם מרכזי לתאונות הקשורות הירדמות בנהיגה. הסבר נוסף לתופעה זו, טמון בהנחה כי הנהג אינו מצליח לקשר בין מצבים של ניקורים (עצימת עיניים קצרה) בנהיגה והעלאת הסיכון לתאונה. בנוסף לכך, נהגים סבורים כי ביכולתם להבחין בעייפות אשר פוגעת ביכולתם לנהוג, אולם בפועל נהגים נוטים לבצע הערכת חסר עצמית. על כן נהגים נוטים לבחון את גבולות היכולת שלהם ומנסים להישאר ערניים, אפילו במצבים מסוכנים בנהיגה (Wylie et al., 1996). בניסוי שערכו Nordbakke & Sagber (2007), ניתן לראות כי באופן כללי יש לנהגים ידע נרחב באשר לגורמים השונים המשפיעים על הירדמות בזמן הנהיגה. יתרה מזאת, רובם מודעים לשיטות היעילות ביותר להימנע מהירדמות על ההגה, ביניהן עצירה לצורך שינה קצרה. על-אף ידע זה וכפי שצוין קודם, רוב הנהגים



ממשיכים לנהוג גם לאחר שחשו בעייפות. כאשר נסיעה קצרה, פגישות והרצון להגיע בשעה סבירה ליעדם הן הסיבות הנפוצות ביותר, על מנת להסביר את המשך הנהיגה על-אף תחושת העייפות.

במחקרם של Reyner & Horne (1998) ניתן לראות כי לכלל התאונות שנבעו ממחסור בשינה הופיעו סימפטומים מקדימים לעייפות הנהג. אולם, קיים החשש כי סימפטומים אלו (עלייה בתדירות מצמוצים) עלולים להתפרש ע"י הנהג כהשפעות סביבתיות (מזגן או אור) ולא דווקא כעייפות. במחקר זה נמצא כי גם לאישיות ומיומנות הנהג השפעה על היכולת להבחין בסימפטומים ראשוניים של עייפות.

כאשר בוחנים מהן השיטות בהן נוקטים נהגים על מנת להתמודד עם עייפות, מוצאים כי נהגים מאמצים לעצמם מגוון דפוסי ההתנהגות לצורך שמירה על ערנות תוך מלחמה בעייפות ובמונוטוניות הנהיגה. מחקר שנערך באוניברסיטת צפון קרוליינה עבור ארגון AAA למען בטיחות בדרכים, בחן מהן השיטות הנפוצות בקרב נהגים להתמודד עם עייפות במהלך נהיגה. השיטות העיקריות שנהגים דיווחו עליהן היו: פתיחת חלון והורדת הטמפרטורה ברכב, האזנה למוזיקה, שתיית משקאות המכילים קפאין, שתיית משקאות אנרגיה, אכילה, התעמלות, התמתחות, עצירה למנוחה, ביצוע משחקים מנטאליים, שירה והשפצת מים על הפנים (Stutts et al., 1999). מסקר שנערך בארה"ב בקרב 4010 נהגים עולה כי הפעולות השכיחות ביותר להתמודדות עם עייפות במהלך נהיגה ממושכת כללו: עצירה לנמנום (43%), פתיחת חלון (26%), שתיית משקאות הכוללים קפאין (17%), עצירה בצד הדרך (15%), הגברת עצמת השמע של הרדיו (14%), עצירה לצורך ביצוע מתיחה ו/או התעמלות (9%), החלפת נהגים (6%), אכילה (3%), שירה או שיחה עם אדם אחר ברכב (3%) (Royal, 2003). פעולות נוספות שדווחו ע"י נהגים כפעולות נפוצות לעיכוב העייפות בנהיגה הן: שיחה בטלפון הסלולארי (Oron-Gilad & Shinar, 2001), לעיסת מסטיק (Royal, 2003), משחק במשחקים הדורשים מאמץ מנטלי (Verwey & Zaidel, 1999) ושימוש בחומרים ממריצים (Horne & Reyner, 2001). בסקר מאוחר יותר שבוצע ב-2006, נהגים נתבקשו לדרג את מידת היעילות הנתפסת של השיטות בהן הם משתמשים בכדי להתמודד עם עייפות בנהיגה (תרשים 2).



תרשים 2: דירוג יעילותם נתפסת של שיטות לשמירה על ערנות (Nordbakke S. & Segberg F., 2007)

בסקר זה נמצא גם כי ניסיון הנהגים מלמד אותם על השיטות האפקטיביות להם לשמירת ערנותם וכן כי השיטה בה בוחר הנהג תלויה בין היתר בגילו. נהג מבוגר יעדיף שיטות מושכלות יותר מנהג צעיר כגון: "עצירה ומנוחה קלה" בעוד הנהג הצעיר יעדיף שיטות, שאינן דורשות יציאה מהרכב כגון: "הגברת מוזיקה", "אכילת ממתקים" ו"שירה" (Nordbakke & Segberg, 2007). מסקר נוסף אשר בחן את שכיחות השיטות השונות והנפוצות בהן משתמשים נהגים צבאיים מקצועיים להתמודדות עם עייפות, וכן את מידת היעילות הנתפסת של אותן השיטות, עלו הממצאים הבאים: 50% מהנשאלים דיווחו כי שתיית קפה או מים עוזרים מאוד לשמירה על הערנות בזמן נהיגה, 40% דיווחו כי שתייה קולה או עישון סיגריות עוזרים מאוד לשמירה על ערנות בזמן הנהיגה. 40% דיווחו כי ללעיסת מסטיק בזמן הנהיגה אין כל השפעה על רמת הערנות. ממצא נוסף מסקר זה מדגיש כי נהגים מקצועיים מודעים ליעילותה של עצירה למנוחה אולם לא נוטים לנקוט בדרך זו כדי להתמודד עם עייפות. עוד עולה מהסקר, כי שיטות כגון פיצוח גרעינים ושתיית משקה אנרגיה אינן נפוצות אך יעילותן מוערכת בקרב נהגים מקצועיים כגבוהה (Oron & Shinar, 2001).

במהלך השנים נעשו מאמצים רבים לעזור לנהג להתמודד עם עייפות בנהיגה. מאמצים אלו התרכזו בשני מישורים עיקריים: האחד, ניסיונות שונים לפתח עזרים טכנולוגיים לזיהוי והתראה על הרדמות מאחורי ההגה. המישור השני כלל ביצוע מחקרים אשר בחנו את יעילותן של שיטות אינטואיטיביות המבוצעות ע"י נהגים לצורך התמודדות עם עייפות.

במישור הטכנולוגי, פותחו עזרים לנהג כגון חישן למיקום הראש או מערכת מעקב אחר מבט העין לצורכי זיהוי והתרעה על רמת העייפות של הנהג. ניסויים שבוצעו על עזרים אלו הראו עתיד מבטיח עבור זיהוי עייפות אצל המשתמש. למרות זאת, כיום לא קיימת



מערכת רגישה ואמינה מספיק היכולה לכמת את עייפות הנהג. מכיוון שתופעת העייפות מושפעת מגורמים פיזיולוגיים, קוגניטיביים וסובייקטיביים יש צורך בגישה/פיתרון טכנולוגי שיכיל אינטגרציה של מספר פלטפורמות, ומספר חיישנים (Wylie et al., 1996).

סיבה נוספת להצלחתם המוגבלת של עזרים אלו תמונה בעובדה כי הם מתבססים על מודעות הנהג למידת העייפות בה הוא שרוי והשפעת עייפות זו על נהיגתו. כל עוד מודעות הנהג נמוכה לסכנות הנהיגה במצב של עייפות ולירידה באיכות נהיגתו, אפקטיביות עזרים אלה מוטלת בספק. ישנה סברה כי נהג במצב של עייפות אופטימי יותר לגבי יכולתו לשלוט ברכב (Horne & Reyner, 1999). שימוש במכשור טכנולוגי מסוג זה עלול אף לגרום להטיה הנובעת מהסתמכות יתר של הנהג על המכשיר עד לכדי פיתוח תלות, והצפייה כי המכשיר יתריע כאשר המצב יהיה באמת מסוכן. לכן הקריטריונים החשובים ביותר עבור מכשירים אלו הינם מידת רגישותם להחלשות הנהג ושיעור קביל של התראות שווא, בכדי למנוע מצב בו המערכת תתריע במקרים בהם אין צורך, דבר אשר יגרום למטרד עבור הנהג, יפגום באמונו בה ואף יפגע בתפקודו.

במקביל, בוצעו מחקרים רבים שבחנו את יעילותן של אותן שיטות אינטואיטיביות המבוצעות ע"י נהגים לצורך התמודדות עם עייפות. האסטרטגיה הנתפסת כיעילה ביותר בקרב הנהגים להתמודדות עם עייפות בנהיגה הינה עצירה להפסקות מנוחה אך למרות זאת נהגים רבים בוחרים שלא לבצע פעולה זו. הסיבות לכך טמונות בין היתר בלוחות זמנים צפופים, תרבות נהיגה, ומחסור באזורי מנוחה (Bonnefod et al., 2003).

מחקרים אשר בחנו את יעילותה של שיטה זו מצאו, כי נמנום בצד הדרך לפרק זמן קצר, של כ- 15 דקות, נמצא יעיל להתמודדות עם עייפות בנהיגה. נמנום לפרק זמן ארוך יותר (מעל 20 דקות) עלול להוביל לשינה עמוקה ובכך ליצור מצב המחייב תהליך ארוך יותר של התעוררות (Sagberg et al., 2004). שיטה נוספת השכיחה בקרב הנהגים לצורך התמודדות עם תחושת העייפות הינה פתיחת חלון הרכב לצורך הורדה של הטמפרטורה ברכב. כאשר אדם נחשף לטמפרטורות הגבוהות מ 28° צלסיוס, ערנותו יורדת, וניכרת פגיעה בביצועי המטלה, הן כאשר מדובר במטלות קוגניטיביות והן מטלות פשוטות המצריכות רמות שונות של דריכות. ניסוי שנערך בקרב עובדי משמרות לילה ובחן את ההשפעה של העלאת טמפרטורה במהלך העבודה הראה כי בתחילת משמרת לילה השינוי בטמפרטורה לא גרם לשינוי בביצועי העובדים בעוד שבסיום המשמרת נצפתה ירידה בביצועי העובדים עקב שינוי הטמפרטורה. דבר המעיד על כך כי לטמפרטורה גבוהה השפעה מרדימה עוד יותר כאשר מדובר באדם עייף (Bonnefod et al., 2003).

פעילות נוספת, בה נוקטים נהגים במטרה למנוע עייפות, היא שימוש בחומרים ממריצים כשהנפץ ביותר הוא קפה (Horne & Reyner, 2001). מבוגרים במדינות המערב צורכים בממוצע כ- 200-300 מ"ג קפאין ליום (3-4 כוסות קפה), שתיית 100-200 מ"ג של קפאין נמצאה מספקת לשמור על ערנות, משפרת את הדריכות ומשפיעה



משמעותית על ירידה בתחושת העייפות (Reyner & Horne et al., 2001). צריכת קפאין במינון הגבוה מ- 300 מ"ג יכולה להוביל לתופעות-לוואי שליליות כגון חוסר מנוחה, עצבנות, חרדה, התרגשות יתר, נדודי שינה, הסמקה ואי סדירות בעיכול. במינון גבוה יותר יכול לגרום לעיוות שרירים, שטף דיבור ומחשבה לא הגיוניים ופרפורי חדרי הלב (Nehlig, 1999).

לקפאין השפעות סובייקטיביות רבות כגון: העצמת תחושות של "הרגשה טובה", "אנרגטיות", "מוטיבציה", "בטחון עצמי", "ערנות" ו"ריכוז" (Reyner & Horne, 2001). מחקרים שמדדו ביצועים קוגניטיביים הוכיחו כי לקפאין השפעה על זמן תגובה, התעוררות אנרגטית ועל הערנות (Smit & Rogers, 2002). ההסבר הכימי לאופן פעולת הקפאין, הוא בכך שהקפאין חוסם את קולטני האדנוזין שבתאי מערכת העצבים המרכזית. כאשר אדנוזין נקשר לתא עצב הוא מאט את פעילות התא, תהליך המתרחש בין היתר בזמן שינה. כתוצאה מחסימת קולטני האדנוזין ע"י מולקולת הקפאין הפעילות העצבית המוגברת גוררת הגברה של קצב הלב, עליית לחץ דם, הגברת זרימת הדם לשרירים ולשחרור גלוקוז, בכך גורם הקפאין לעיכוב הופעתם של תסמיני העייפות (Reyner & Horne, 2001).

Reyner & Horne (2001) ביצעו השוואה בין השפעת צריכת קפאין, מנוחה למשך 15 דקות והשילוב של שתי שיטות אלו כמעכבות עייפות בקרב אוכלוסיית נבדקים שסבלה ממחסור בשינה. מבין שלושת הטיפולים שנבחנו, הקפאין הראה יעילות רבה יותר להתמודדות עם עייפות בהשוואה לטיפול שכלל מנוחה וזאת בעיקר כתוצאה מהקושי להירדם שחוו הנהגים למשך הזמן שנבדק. מבחינת השפעת השילוב של שתיית קפה ותנומה ל-15 דקות טיפול זה נמצא כיעיל ביותר לשמירה על ערנות היות והשפעת קפאין מגיעה לשיאה לאחר כ- 30 דקות מצריכתו ולכן לאחר השתייה והתנומה הנהג מתחיל בהנהיגה כאשר הן המנוחה והקפאין משפיעים באופן חיובי על ערנותו.

Philip et al. (2006) בדקו את השפעתם של תנומה קצרה ושל שתיית קפה על ביצועי הנהיגה ותחושות נהגים עייפים זאת בהשוואה לניסוי ביקורת שכלל שתייה של משקה דמה. המחקר התבצע בשעות הלילה המאוחרות בסביבת נהיגה אמיתית. מתוצאות המחקר עלה כי הנהגים דיווחו על עייפות נמוכה יותר לאחר שתיית הקפה ולאחר התנומה בהשוואה לניסוי ביקורת. מדדי ביצוע הנהיגה הראו כי מידת הסטייה מנתיב במצב הביקורת הייתה גבוהה פי 3.7 מהתוצאות שהתקבלו בניסוי בו שתו הנהגים קפה וכן גבוהה פי 2.9 מתוצאות הניסוי אשר כלל תנומה קלה.

משקאות שהופיעו בשנים האחרונות ונמצאו כבעלי השפעה על הביצועים הקוגניטיביים הם משקאות ה"אנרגיה". המשקאות "האנרגטיים" זוכים לחשיפה פרסומית נרחבת ויוצרים אפשרויות חדשות לשמירה על ערנות. מלבד קפאין מכילים משקאות אלו חומרים



נוספים אשר נמצאו כמשפיעים על הערנות והיכולת הקוגניטיבית ביניהם טאורין, גלוקוז, ויטמינים מקבוצת ה-B וגלוקורנולאקטון (Ronen, 2003; Horne & Reyner, 2001).

טאורין הינה חומצה אמינית אשר גוף האדם אינו מייצר ומקבלת אותה אך ורק מתזונה. צריכתה היומית הממוצעת נעה בין 400-40 מיליגרם ביום, כאשר במשקאות אנרגיה ריכוזה גבוה יותר ויכול להגיע עד ל-4000 מיליגרם לליטר משיקה. אופן הפעולה המדויק של טאורין ודרך השפעתה על התנהגות אינם לגמרי ידועים, אך ידוע כי השפעתה המקסימאלית הינה לאחר כשעה עד שעתיים מהצריכה. לטאורין משויכת השפעה חיובית על ביצועים, יכולת השפעה על מצב הרוח ועל התנהגות תחת לחץ כמו כן בעלת השפעה חיובית במניעת יתר לחץ דם. (Baum & Weib, 2001; Seidl et al., 2000)

מרכיב נוסף אשר נמצא במשקאות אלו ומשמש להספקת אנרגיה הינו הגלוקוז. זו היא מולקולה בסיסית המשמשת מקור אנרגטי יחידי לתפקוד המוח, ספיגת הגלוקוז מתרחשת באופן מידי ומגיעה לריכוזה המקסימאלי בדם לאחר כחצי שעה מהצריכה. לאחר צריכת גלוקוז נמצא שיפור בזמן תגובה, בעיבוד מידע חזותי, במטלות זיכרון, בנהיגה בסימולטורים ובמטלות חשבוניות (Scholey et al., 2001).

קבוצת ויטמינים מסוג B וכן גלוקורנולאקטון מראים גם הם השפעה חיובית על ביצועים מנטאליים, ערנות במשך היום, ריכוז וכן השפעה על מצב הרוח (Mayer et al., 1996; Finnegan, 2003).

ההבדל העיקרי בין משקאות "האנרגיה" השונים הוא ריכוז הקפאין והטאורין המצויים בהם אם כי בחלקם ישם חומרים נוספים כגון גאורנה. מעבודות שנעשו על השפעת משיקה "האנרגיה", דווח כי לאחר השתייה נצפה שיפור בסיבולת האירובית והאנארובית תוך שיפור משמעותי בביצועים המנטליים: זמן תגובה, ריכוז וזיכרון (Alford et al., 2001). Reyner & Horne (2001) בחנו את ההשפעה של שתיית 500 מיליליטר משיקה "האנרגיה" על ביצועי הנהיגה בקרב נהגים הסובלים ממחסור בשינה. תוצאות המחקר הראו, כי קיים שיפור ביכולות הביצוע של הנהגים הבא לידי ביטוי בירידה ניכרת הן במספר הסטיות מנתיב הנסיעה והן בזמן תגובה למטלות. שתיית משקאות אנרגיה נמצאה גם כמשפרת את יכולות פיזיולוגיות-מוטוריות, כגון: ריכוז, זיכרון לטווח קצר, תחושת ערנות וחיוניות, ביצועים פיזיולוגיים ומצב רוח (Alford et al., 2001; Seidl et al., 2000).

דרכים נוספות להתמודדות עם עייפות שדווחו בסקרים רבים ונבחנו אמפירית הינן שימוש באמצעים ווקלים לצורך התמודדות עם עייפות בזמן נהיגה. דוגמאות לכך הינן האזנה למוזיקה ו/או הגברת עוצמת השמע, שיחה עם אדם אחר הנמצא ברכב או שיחה בטלפון הסלולארי. מחקרים אשר בחנו את השפעות האזנה לרדיו בהתמודדות עם עייפות הראו כי אכן האזנה לרדיו יעילה בעיכוב סימפטומים של עייפות אם כי, לטווח קצר בלבד (Reyner et al., 1998a). מנגד, ממחקר מאוחר יותר של Reyner & Horne



(1998) עולה, כי האזנה למוזיקה איננה תורמת לשמירת הדריכות בקרב נהגים עייפים. ההסבר לממצאים אלו טמון בכך שהאזנה למוזיקה גרמה להסחת דעתם של הנהגים מעייפות בה הם שרויים והובילה להתדרדרות נוספת של הנהיגה. מבחינת עניין ואתגר תוכניות ראיונות ברדיו או ערכות ללימוד שפה, נמצאו כמאתגרות מנטאלית ואף מעניינות יותר, ובכך נותנות תחושה של "שיחה אמיתית" ששומרת על ערנות הנהג (Maycock, 1995).

שיטה נוספת שהועלתה כבעל פוטנציאל לעיכוב עייפות בזמן נהיגה ממושכת היא עצירה בצד הדרך לצורך ביצוע מתיחה או פעילות גופנית. נמצא כי אנשים נוהגים להתנועע במהלך עבודתם על מנת להפחית את עייפותם ולהגביר את ערנותם (Bonnefond et al., 2003). במחקר קודם בתחום הראו כי לפעילות פיזית ברמות שונות יש השפעה חיובית על היכולת לשמור על ערנות במצבים שונים של מניעת שינה (Bonnet & Arand, 1999). שיטה זו נמצאה יעילה בקרב נהגים עייפים לשמירה על ערנות למשך 30 דקות, בביצוע התעמלות מאומצת בלבד. בביצוע התעמלות קלה או בינונית, חלק מהנהגים דיווחו כי הרגישו עייפות ב- 10 דקות הראשונות ולא נראה שיפור באיכות הנהיגה בתנאים אלו (Horne & Reyner, 1995).

Maycock (1995) מצאה כי חלק מהנהגים מעסיקים את עצמם במשחקים מנטאליים שונים, כמו ספירות פשוטות או משחקי חישוב, יצירת רשימות מילים לפי חוקים מסוימים, פתירת חידות, או למידת שפה חדשה באמצעות קלטות לימוד, כל זאת לצורך הפגת שעמום או עייפות. ואכן, התנהגות אינטואיטיבית זו אשר מדווחת על ידי הנהגים עולה בקנה אחד עם תיאורית המודלים הדינאמיים לקשב וביצוע מתמשכים. תיאוריה זו גורסת כי, אחת הדרכים להתמודדות עם עייפות המתפתחת במצבי תת-עומס בנהיגה הינה שילוב של מטלה משנית לנהיגה אשר תעמיס על הנהג ותוביל אותו למצב של עומס אופטימאלי (Young et al., 2002).

חיזוקים נוספים לטענה זו מתקבלים ממחקרים אמפיריים, אשר הראו כי לגירויים קוגניטיביים היכולת לעכב תסמיני עייפות ולמטלות קוגניטיביות משניות השפעה חיובית על ביצועי הנהג (Salvucci, 2000; De Valck et al., 2004). אולם בטרם מתבצעת בחירה של מטלה משנית לנהיגה יש להתחשב בגורמים ובסוג העייפות עימה מתמודד הנהג. מטלות ושיטות שונות להתמודדות עם עייפות יידרשו במידה ומקור העייפות הוא בחוסר שינה של הנהג או בעייפות כתוצאה מפעולת הנהיגה עצמה (Oron-Gilad & Hancock, 2005). לדוגמא, במצב של תת-עומס יש לבחור מטלה משנית אשר לא תגרום להסחת דעת הנהג מהמשימה העיקרית, אך יחד עם זאת, תדרוש תשומת לב מספקת אשר תשמר את הנהג ברמת ערנות גבוהה.

תוצאות סקר שבוצע בקרב נהגים מקצועיים, אשר בדק מהם דפוסי ההתנהגות של נהגים המתמודדים עם עייפות בנהיגה נמצא כי אחד מ- 15 הדפוסים העיקריים שנהגים



מבצעים לצורך שמירה על ערנות הינו ביצוע מטלה משנית פשוטה הכוללת פיצוח גרעיני חמנייה. הנהגים ציינו כי הם רואים בפיצוח הגרעינים אמצעי שמיש ויעיל לשמירה על ערנותם. (Oron-gilad & Shinar, 2001). בהתבסס על סקר זה בוצע מחקר במעבדה לארגונומיה אשר בחן את השפעה של ביצוע מטלה מוטורית פשוטה (פיצוח גרעינים) כמעכבת עייפות בנהיגה מתמשכת. תוצאות המחקר הראו כי פיצוח ואכילת גרעינים בזמן הנסיעה השפיעו באופן חיובי הן על התחושות הסובייקטיביות והן על מצבם הפיזיולוגי של הנהגים. השפעה חיובית זו באה לידי ביטוי בתחושת מוטיבציה ותחושת ערנות גבוהים יותר וכן ירידה ניכרת בשונות קצב הלב, המעידה על דריכות וערנות גבוהים יותר בהשוואה למצב הביקורת. המסקנות ממחקר זה מעידות כי ביצוע מטלה משנית פשוטה לאורך נהיגה ממושכת, הינה בהחלט אחת הדרכים היעילות לשימור ערנות נהג השרוי במצב של תת-עומס (Shinar et al., 2007).

Desmond & Matthews (1997) הראו במחקרם, כי כאשר העומס הנוצר ממטלת הנהיגה נמוך, הוספה של מטלה משנית קוגניטיבית המערבת את זיכרון העבודה מגדילה את מחויבות הנהג לביצוע המטלה הראשית שכן, הנהג חש כי יש צורך להשקיע בנהיגה מאמץ רב יותר. אלמנט נוסף החשוב בבחירת מטלה משנית למטלת הנהיגה הינו המוטיבציה של הנהג לביצוע המטלה. שכן, נמצא כי נהג עייף יכול להתמיד בביצוע המשימה באופן יחסי כל עוד יש לו מוטיבציה לכך (Gershon, et al., 2007).

מחקר, שנערך על ידי Zaidel ו Verwey (1999), אשר בחן את יעילות השימוש במטלה משנית המבוססת משחקים מאתגרים במניעת הרדמות, העלה כי למטלה הייתה השפעה חיובית על ביצועי הנהגים בתנאי נהיגה מונוטוניים. ביצוע המטלה היה בעל השפעה גדולה יותר על נהגים המועדים להרדמות, הקטין את מספר התאונות ואת מספר הסטיות מהנתיב בצורה משמעותית. נראה כי משחק מנטאלי מעניין הדורש תשומת לב מהנהג, עוזר לשמר ערנות ודריכות ובדרך עקיפה, משפר את הקצאת הקשב למטלת הנהיגה.

מחקר נוסף הנערך במעבדתנו, בחן והשוואה בין מספר מטלות משניות קוגניטיביות במטרה לבחון את יעילותן כמעכבות תסמיני עייפות הנובעים מנהיגה בתנאים של תת-עומס וכן מהי מידת העומס המנטאלי והפיזי שנוצר בעקבות ביצוע מטלות אלו (Oron-Gilad et al., 2007).

שלושת המטלות שנבחנו נבדלו ביניהן הן מבחינת התהליכים הקוגניטיביים שנדרשו לביצוען והן מבחינה מוטורית המאפיינת את אופן ביצוע המטלה. המטלות שנבחרו להשתתף במחקר זה כללו מטלה תפיסתית, מטלת המערבת זיכרון לטווח קצר, ומטלה המערבת את הזיכרון לטווח ארוך (שאלות טריוויה). כמו כן בוצעה השוואה של יעילות מטלות אלו לבין השפעתה של האזנה למוזיקה.



מניתוח תוצאות המחקר עולה כי לכלל המטלות השפעה חיובית בעיכוב עייפות וכי לא היו הבדלים משמעותיים במדדי הביצוע בין שלושת המטלות שנבדקו. אומנם, מטלת הטריוויה לא הראתה יתרון בולט על פני שאר המטלות מבחינת ביצועי הנהיגה, אך מבחינה סובייקטיבית הייתה המועדפת על פני השתיים האחרות בקרב 50% מהנהגים, לעומת 25% שהעדיפו את האחרות. כמו כן 60% מהנהגים בניסוי טענו כי ישמחו להתקין ולנסות מכשירים מסוג זה ברכבם הפרטי. בדומה למוצג בספרות, גם במחקר זה נמצא כי האזנה למוזיקה איננה משפרת את איכות הנהיגה (Oron-Gilad et al., 2007).

כדי לבחון יעילות שיטות שונות, ישנה חשיבות רבה להשתמש במגוון שיטות על מנת לאמוד את השפעת כל שיטה על תחושתו של הנבדק, איכות ביצועיו ומצבו הגופני בעת יישום השיטה הנבחרת. ישנן שיטות רבות למדידת עומס עבודה, כדוגמת העומס הנוצר במהלך נהיגה ממושכת ועלול להביא את הנהג למצב של עייפות. על כן, יש להשתמש במספר שיטות מדידה שונות במקביל, על מנת לקבל מידע כולל ומקיף בדבר מצבו של הנהג. ניתן לחלק את שיטות המדידה לשלוש קטגוריות: מדידות סובייקטיביות, מדידות איכות ביצוע הנהיגה ומדידות פיזיולוגיות (Ronen, 2003).

מדידות סובייקטיביות מתבססות על מדדים אשר בוחנים את הערכת הנבדק עצמו לגבי מצבו הפיזי והמנטאלי. מדידה סובייקטיבית מתבססת בעיקר על שאלונים אשר יתרונו הגדול הוא בכך שהם פשוטים ליישום וזוכים לשיתוף פעולה מצד הנבדקים (Sherry, 2000). מגבלות השימוש בשאלונים הינן: רגישות להעדפה אינדיווידואלית, תלויות בזיכרון של הנבדק וכן תוצאות הנתונות להשפעת דעות קדומות של הנבדקים (Hilburn, 2001 & Jorna).

אחד השאלונים המקובלים ביותר למדידת עייפות הינו SOFI (Ahsberg, 1997) (Swedish Occupational Fatigue Inventory). שאלון זה פותח תוך שימוש במידע על עייפות נתפסת בקרב קבוצות מקצוע שונות, במגוון גילאים ומשני המינים. תיקוף רגישותו של השאלון התבצעה ע"י השוואה ומציאת מתאם בין התוצאות שהתקבלו מהשאלון לתוצאות שהתקבלו משימוש במדדים פיזיולוגיים. היתרון לשימוש בשאלון זה טמון בעובדה כי השאלון הורכב במטרה לכלול את מירב הממדים הרלוונטיים לתחושת עייפות הנוצרת בעקבות ביצוע מטלה. ואכן, שאלון SOFI מורכב מחמישה מימדים הכוללים דיווח על תחושות של אי נוחות פיזית, תשישות פיזית, חוסר באנרגיה, חוסר במוטיבציה וישנוניות ובכך, מספק מידע הן על האספקטים הפיזיים והן על האספקטים המנטאליים של העייפות. יתרונות נוספים של שאלון SOFI הינם פשטותו, והתוקף הגבוה שלו (Ahsberg et al., 2000).

שאלון נוסף, מקובל גם כן, הוא NASA-TLX (Task Load Index). מטרת השאלון לאמוד את תחושת עומס העבודה של הנבדק כאשר מימדיו מתייחסים לדרישות



מנטאליות, פיזיות וביצועיות. בכל סעיף בשאלון ישנה התייחסות לשני מימדים, לדוגמה: מידת לחץ-הזמן והעומס הפיסי, וכך על הנבדק להעריך לאיזה מדד הוא הקצה יותר משאבים. השאלון זה הינו נפוץ מאוד ונתפס כבעל אמינות גבוהה (Hendy et al., 1993).

סוג נוסף של מדדים המשמשים להערכת מצבו של הנהג הינם מדדי איכות ביצוע הנהיגה. מחקרים רבים הראו כי לעייפות ישנה השפעה מזיקה על ביצועי נהיגה, וכי השפעה זו תלויה בין היתר, במשך זמן ביצוע המטלה (Stein, 1993). ישנם מספר רב של מדדים המשמשים לבחינת איכות הנהיגה ביניהם נכללים נתונים כגון, סטייה ממרכז הנתיב, השונות במידת הטיית ההגה, היכולת לשמור על מהירות קבועה, מספר תאונות ועוד. מדדי איכות ביצועי הנהיגה אשר נמצאו רגישים לנהיגה בהשפעת עייפות הינן, מיקום בנתיב, מהירות גלגל ההגה, השינוי במהירות, תאוצה אורכית ומספר תאונות (Wylie et al., 1996).

עייפות וערנות הנהג, תלויים ומשתנים בהתאם לרמת הגירוי של מערכת העצבים המרכזית, ולכן ניתן למדוד שינויים אלו גם בעזרת שימוש בכלים פיזיולוגיים (Wylie et al., 1996). מדדים פיזיולוגיים אלו מאפשרים להעריך את מידת הדחק הפיזיולוגי בו שרוי הנהג כתוצאה מהתמודדותו עם מטלות שונות, תחת השפעתם של גורמים סביבתיים וגורמים נוספים כגון: סמים ואלכוהול (Ronen, 2003). המדדים הפיזיולוגיים המוכרים בשימוש למדידת עייפות פיזית ומנטאלית הם קצב לב (HR - Heart Rate), שונות קצב לב (HRV - Heart Rate variability), הפעילות החשמלית בקליפת המוח (EEG - Electroencephalogram), תנועות עיניים (EOG - Electro-Oculogram), פעילות חשמלית של השריר (EMG - Electromyography) והתנגדות חשמלית של העור (GSR - Galvanic Skin Response) (Sherry, 2000).

שני מדדים שכיחים בשימושם למדידת רמת ערנותו של הינם הפעילות החשמלית בקליפת המוח (EEG) ושונות קצב הלב (HRV). ה- EEG הינו כלי למדידה של גלים חשמליים שמקורם בפעולת המוח. הקלטת גלי המוח מתבצעת ע"י הצמדת אלקטרודות לראשו של הנבדק (מס' האלקטרודות על פי הרזולוציה המבוקשת – מספר אזורי המוח הנבדקים), שרושמות שינויים חשמליים. כאשר האדם בשלבי שינה ראשונים, בהיותו נח ורגוע, אינו שרוי בריגוש ואינו עוסק בפעילות מנטאלית מאומצת (כגון פתרון בעיה) ישנה פעילות של גלי אלפא גבוהה. לעומת זאת, כאשר האדם נמצא במצב של דריכות, כשהקשב מופנה למתרחש בסביבה או בעת חשיבה פעילה קיימת הגברה של פעילות גלי בתא הכוללת גלים לא סדירים, נמוכי משרעת (Sherry, 2000). מחקרים שבחנו השפעה של נהיגה מונוטונית מתמשכת על מצבו הפיזיולוגי של הנהג הראו כי ככל שהנהיגה התמשכה היחס בין גלי אלפא לגלי בתא של הנבדקים עלה. כמו כן נמצא



קורלציה טוב בין תוצאות מדידת ה- EEG לבין התחושות הסובייקטיביות ומדדי הביצוע של הנבדקים בניסוי (Wylie et al., 1996)

בדיקה המשמשת למדידת קצב לב ושונות קצב הלב הינה ECG (elctrocardiogram). הבדיקה נותנת פלט של המתח החשמלי בלב ומאפשרת להעריך את הלחץ/מתח בהם האדם שרוי ואת השינויים בפעילויות מערכת העצבים האוטונומית (Ronen, 2003). שונות קצב הלב (HRV) מוגדרת כמרחק בזמן בין כל פעימה בלב בריא. ככל שהאדם רגוע יותר, עייף ופחות קשוב, כך תעלה שונות קצב הלב שלו. במצב ההפוך בו אדם ערני, דרוך, או חווה לחץ, שונות קצב הלב תרד (, Brookhuis and De Waard, 1993; Malik, 1996, Mulder, 1992).

מחקרים רבים עושים שימוש בשלושת סוגי מדדים אלו על מנת לאמוד את מצב הנהג במהלך נהיגה ממושכת. חלק נכבד ממחקרים אלו נעשה תוך שימוש במדמי נהיגה (סימולטורים) שכן לאמצעי זה יתרונות רבים במחקרים הקשורים לעייפות והרדמות. כפי שהוזכר, אחד הגורמים להאצת ההרדמות בנהיגה הינו נהיגה ממושכת בסביבה מונוטונית בה קצב האירועים נמוך. הסימולטור, המדמה הן את סביבת הנהיגה והן פעולות מוטוריות קוגניטיביות שונות המתרחשות במהלך הנהיגה, מאפשר בניית תסריטים בהתאם לצורכי המחקר. הסביבה המבוקרת בה נמצאים הסימולטורים, כאשר הנהג נעדר תחושת סכנה, אף מגדילה את האפשרות של הסימולטור ליצר תחושת שעמום והרדמות מהר יותר בהשוואה לנהיגה בתנאים אמיתיים כך שינתן לבחון את הגורמים והטיפוליים השונים העשויים להשפיע על רמות הערנות במהלך הנהיגה, כבר לאחר תקופה קצרה יחסית (Oron-Gilad et al.). למרות העובדה כי מדובר על מדמה נהיגה, הסימולטור בו נעשה שימוש במחקר הנוכחי עבר מבחן תקפות ממוקד לבדיקת תפישת המהירות בו נצפה קשר קבוע בין האופן בו נהגים תופשים את המהירות בסימולטור בהשוואה לנהיגה במכונית אמיתית בתנאים דומים (Shinar & Ronen, 2008)

במחקר הנוכחי נערכו סידרה של ניסויים שנחלקו לארבעה שלבי ניסוי שונים במטרה לבחון את היעילות של שיטות העשויות להיות יעילות לעיכוב תסמיני עייפות והעלאת רמת הערנות במהלך נהיגה ממושכת.



כלים ושיטות כלליות לכלל המחקרים והניסויים

כלל המחקרים המובאים בדו"ח זה בוצעו בסימולאטור הנהיגה של מעבדת הארגונומיה, במחלקה להנדסה תעשייה וניהול באוניברסיטת בן-גוריון בנגב.

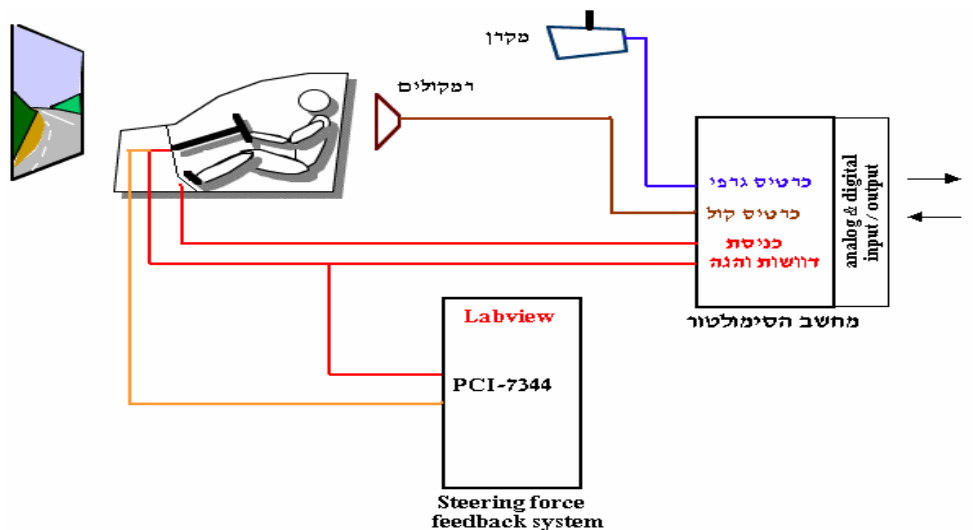
המערכת הניסויית

מערך הניסוי שילב גורמי תוכנה, חומרה וניטור שונים, על-מנת לבדוק יעילות שיטות שונות בעיכוב תסמיני עייפות בנהיגה מתמשכת. תתי הפרקים הבאים סוקרים בפרוט את המכשור, המדדים ואופן איסוף הנתונים בהם נעשה שימוש במחקרים המפורטים בהמשך.

סימולאטור נהיגה

חדר הסימולציה הינו חדר המבודד לרעשים חיצוניים ובעל מערכת מיזוג עצמאית המאפשרת שליטה על טמפרטורה קבועה במהלך הניסוי. בחדר המעבדה מותקן סימולאטור נהיגה מתוצרת חברת STISIM (System Technology, Inc.) המשולב בתוך במכונית Rover משפחתית. מחשב הסימולאטור (תרשים 3) הינו בעל ממשק אינטראקטיבי המתממשק למרכיבים המקוריים של המכונית. ממשק זה כולל: דוושת האצה, דוושת בלימה ומערכת היגוי. תסריטי הסימולאטור הוקרנו על גבי מסך תוך שימוש בהדמיה חזותית וקולית בכדי לתת תחושה אמיתית של נהיגה. בנוסף חוברה מערכת ההיגוי למחשב ומנוע נוסף, כדי ליצור בהגה תחושה של התנגדות בהתאם להתנגדות המורגשת בנהיגה בתנאים אמיתיים. תסריט ההדמיה הוקרן על גבי מסך בגודל $3-3 \text{ m}^2$ ובמרחק 3 מטרים מעיני הנבדק המאפשר שדה ראייה אופקי של 40 מעלות בקנה-מידה של 1:1. לצורך ניטור מצבו של הנבדק במהלך הנהיגה, מוקמו 2 מצלמות בתוך הרכב, האחת בסמוך למראה הקדמית המצלמת מלפנים את פני הנבדק והשנייה בחלקו האחורי של הרכב, המצלמת את תנועות הנבדק מאחור.

מסלולי הנהיגה השונים תוכננו בשפת מחשב המוגדרת לעבודה עם הסימולאטור SDL Scenario Definition Language - תכנות זה מאפשר התאמה של מערך הנהיגה לדרישות הניסוי. סוגי הכבישים ומורכבותם, אירועים לאורך הדרך (צפיפות הנהיגה, צמתים, מעבר אנשים, מכשולים), תנאים חיצוניים וכן מדדי הנהיגה בהם נעשה שימוש לניתוח איכות הנהיגה.



תרשים 3: מחשב הסימולטור והממשק האינטראקטיבי אליו מחובר



תרשים 4: מכונת הסימולטור וזווית הראיה של הנהג

חדר בקרה

בזמן הניסויים בוצע מעקב אחר נבדקים מתוך חדר בקרה חיצוני לחדר בו ממוקם סימולטור הרכב. שני מסכים מפוצלים מאפשרים מעקב רציף לכל אורך הניסוי אחר המדדים הפיזיולוגיים של הנהג, מד המהירות, ציר הנסיעה, פני הנהג, גב הנהג ונתוני הנהיגה בזמן אמת.



תרשים 5: מסכי מעקב של חדר הבקרה

איסוף נתונים

במהלך הניסויים נמדדו ונאספו נתונים גולמיים אשר נחלקים לשלושה סוגים: מדדים פיזיולוגיים, מדדי ביצוע ומדדים סובייקטיביים.

מדדים פיזיולוגיים

המדדים הפיזיולוגיים שנאספו לאורך הניסוי כוללים אותות ECG ו-EEG שהוקלטו על-ידי פולגרף מתוצרת "Atlas Researches LTD", הממוקם במושב האחורי של המכונית ומחובר למחשב אישי בעזרת סיב אופטי.

אותות ה-ECG התקבלו משתי אלקטרודות שהוצמדו לעור בשני אזורים. אלקטרודה אחת הוצמדה לצלע העליונה בצד השמאלי של הגוף והשנייה באזור עצם הקלויקולה. אלקטרודה נוספת שימשה להארכה והוצמדה לצלע העליונה בצד הימני של הגוף. האותות נדגמו בתדירות דגימה של 500Hz ולאחר הקלטתן, זוהו פסגות ה-R, מרכיב בולט באות ECG, וחושבו המרווחים בזמן בין פסגות R-R. מתוך חישוב זה, ניתן היה לחשב את קצב הלב לקטע מוגדר. בהמשך נעשתה אנליזה ספקטרלית על רישום ה-R-R לקבלת שונות קצב הלב. השונות הכוללת חושבה כשטח בין $0-0.4\text{Hz}$ בספקטרום שהתקבל מהאנליזה הספקטרלית..

אותות ה-EEG נדגמו אף הם, בקצב דגימה של 500Hz והוקלטו בעזרת שתי אלקטרודות אשר הוצמדו לחלקה האחורי של הגולגולת באזורים הרגישים לגלי אלפא (C3-C4). אלקטרודה נוספת הודבקה למצח הנבדק ושימשה להארכה. ניתוח האותות התבצע בעזרת חישוב היחס בין פעילות גלי אלפא ($7-13\text{Hz}$) לפעילות גלי בטא ($13-25\text{Hz}$) מתוך ספקטרום אותות ה-EEG. למרות שאותות אלו הוקלטו, כמות ה"רעש" באותות הייתה גבוהה יחסית וכן בחלק מהמקרים הסירו הנהגים את האלקטרודות במהלך הנהיגה מסיבות שונות ולכן לא ניתן היה לנתח נתונים אלו.



מדדי איכות ביצועי הנהיגה

מדדי איכות הנהיגה בהם נעשה שימוש בחלקי המחקר השונים כללו את הפרמטרים הבאים:

1. המיקום ממוצע של המכונית בנתיב ביחס למרכז בנתיב (feet).
 2. שונות המיקום בנתיב - שונות מיקום המכונית סביב המיקום הממוצע בנתיב (feet).
 3. שונות מידת הטיות ההגה – מדד זה מדד את הסטיות בהטיית ההגה (degrees).
 4. מהירות ממוצעת (km/hr) (המהירות המרבית הוגבלה ל – 90 קמ"ש).
 5. שונות מהמהירות הממוצעת הליניארית (האורכית) במקטע מוגדר – מדד זה מודד את השונות סביב המהירות הממוצעת לאורך נתיב מסוים (km/hr).
- מדדי ביצוע אלו הינם מדדים מקובלים לבחינת השפעות גורמים שונים על הנהג ונהיגה. פרט לנתונים אלו, נמדדו בכל ניסוי גם מספר התאונות שהתרחשו. נהיגה בדרך מונוטונית וישרה יוצרת תנאי דרך "סלחניים" בהם למרות סטיות רבות ומשמעותיות מהנתיב לרוב לא נגרמות תאונות. על כן, מספר התאונות בנהיגה מסוג זה היה הקטן ולא נמצא רגיש למצב הנהגים ולהשפעת הטיפולים השונים ולכן אינו כלול בתוצאות.

מדדים סובייקטיביים

המדדים הסובייקטיביים כללו שאלונים המתייחסים למצבו הנפשי/פיזי של הנבדק לאורך הניסוי כפי שהוא נתפס על-ידי הנבדק בעצמו. השאלונים הבאים משותפים לכל שלבי המחקר:

1. Ahsberg et al,) The Swedish Occupational Fatigue Inventory - SOFI (1997) - השאלון מכיל 20 שאלות בסולם דירוג של 0-6 (0- נמוך, 6- גבוה). המתייחסות לתחושותיו של הנבדק בנוגע ל- 5 קטגוריות שונות: אי נוחות פיזית, עומס פיזי, חוסר אנרגיה, חוסר מוטיבציה וישנוניות. שאלון זה ניתן לנבדק בתחילת הניסוי, עם הגעתו למעבדה ושוב בתום הנהיגה. תוצאות השאלון מחושבות ע"י חישוב ההפרש (Δ) המספרי בין תשובה שהתקבלה בתום הנהיגה לתשובה שניתנה בתחילתה.
2. National Aeronautics and Space Administration Task - NASA TLX Load Index. שאלון זה ניתן לנבדק בתום הנהיגה ומודד את תחושת עומס העבודה שצברה מטלת הנהיגה. השאלון מורכב מ- 9 שאלות בסולם דירוג של 1-9 (1- נמוך,



9- גבוה), המתייחסות לתחושותיו של הנבדק בנוגע לשש קטגוריות שונות: עומס מנטאלי, עומס פיזי, עומס הנגזר מזמן, רמת ביצועים, מאמץ ותסכול.



שלב ראשון: תכנון ופיתוח מטלה משנית קוגניטיבית אינטראקטיבית וביצוע ניסוי ראשוני – שלב "פיילוט"

מחקר מתמשך שנערך באוניברסיטת בן-גוריון בנגב העלה כי מטלה משנית-קוגניטיבית העושה שימוש בהפניית שאלות מרובות ברירה אל הנהג בהליך של סימולציה מול מחשב, הראתה פוטנציאל בעיכוב תסמיני עייפות והעלאת רמת הערנות היחסית בנהיגה ממושכת במצב של תת-עומס. מטרת שלב זה במחקר הייתה פיתוח ובדיקת ישימות של מערכת המתבססת על רעיון זה. Interactive Cognitive Task (ICT), הינה תוכנת משחק אינטראקטיבית שמטרתה יצירת אינטראקציה עם הנהג במהלך נהיגה. הפעלתה מבוססת על תהליכים שמיעתיים ומוטורים. כאשר המערכת משמיעה לנהג שאלות מרובות ברירה ועל הנהג היה להגיב בלחיצה על כפתור על מנת להשיב עליהן. בשלב הנוכחי של הפרויקט בוצע אפיון והערכה ראשונית של מערכת זו. מערכת ה-ICT מכילה חמישה נושאים שונים של שאלות ומאפשרת הרחבה והוספת נושאים אחרים, בכל נושא שלוש רמות קושי (קל, בינוני, קשה). המעבר בין רמות הקושי אינו אוטומטי ותלוי במידת הצלחה בשלב הקודם. לאחר אפיון ובניית המערכת נכתבו 210 שאלות מרובות ברירה והתבצע דירוג רמת הקושי של השאלות בעזרת תיקוף השאלות בקרב כ-90 סטודנטים. בשלב הבא בוצעו ניסויי פיילוט בקרב חמישה נבדקים בהתאם לפרוטוקול הניסוי. הניסויים התקיימו בסימולאטור וכללו שלושה מפגשים לכל נבדק: מפגש הכרות עם מערכות הניסוי ושני מפגשי ניסוי: מפגש הכולל הפעלה של מערכת ICT ומפגש ללא הפעלת מערכת זו. בניסוי אשר כלל את פעלת מטלת ה-ICT כלל את הפעלת המערכת פעמיים במהלך הנהיגה למשך 20 דקות בכל פעם. תוצאות ניסוי הפיילוט הראו כי למטלת ה-ICT השפעה חיובית על מדדי ביצוע הנהיגה: יכולת טובה יותר לשמור על מיקום הרכב בנתיב הנסיעה ויציבות היגוי טובה יותר כפי שבאה לידי ביטוי בשונות נמוכה יותר במידת הטיית ההגה. בעת הפעלת המערכת כמו כן השפעה חיובית של המערכת נצפתה גם במדדים הסובייקטיביים (שאלון SOFY). המסקנות שהוסקו מחלק זה בניסוי הצביעו על הפוטנציאל של מערכת ICT בעיכוב תסמיני עייפות כאשר הנהג מתפקד תחת תת-עומס, כמו גם על שינויים מתודולוגיים שיש לבצע במערך הניסוי על מנת לבחון באופן יעיל את הפוטנציאל הגלום במערכת. תוך הארכת משך ביצוע מטלת הנהיגה ושינוי תזמון הפעלות מערכת ה-ICT כך שתופעל בעת עייפות מקסימאלית של הנבדקים.



תכנון ופיתוח מטלה משנית קוגניטיבית (Interactive Cognitive Task-ICT)

אפיון המערכת

השלב הראשון במחקר, יוחד לאפיון המערכת, פיתוח תוכנה קוגניטיבית מתקדמת כאמצעי לעיכוב תסמיני עייפות במהלך נהיגה ממושכת. מערכת זו הינה מערכת המבוססת על משחק "טריוויה" בו מוצגות שאלות מרובות בחירה ועל הנבדק לבחור את התשובה נכונה (אחת בלבד) מתוך ארבע תשובות אפשריות. המערכת הינה אודיטורית-מוטורית, השאלות מוצגות לנבדק בצורה אודיטורית, והמענה מתבצע ע"י לחיצה על מקש התשובה הנכונה. המערכת מובנת באופן המאפשר פנייה לקהל יעד רחב וזאת ע"י בניית מאגר שאלות נרחב אשר מקיף מספר נושאים שונים הניתנים לבחירה על בסיס העדפה אישית של כל נבדק. לצורך יצירת אתגר ועניין בשימוש במערכת יצרנו שלוש דרגות קושי עולות של שאלות.

בנייה של מערכת מודולארית כדוגמת זו, אפשרה ביצוע שינויים והתאמות בפשטות יחסית בהתאם לצורכי הניסויים השונים. התוכנה מספקת מענה בנוגע לקביעת תנאי ההפעלה והכיבוי של המערכת תוך כדי הניסוי, ביצוע הפעלה תלוית זמן או הפעלה תלוית רצון משתמש ובעתיד גם הפעלה לאחר זיהוי עלייה ברמת הישגויות של הנהג כתלות במדדים הפיזיולוגיים.

כתיבה ובדיקת התוכנה

הממשק העיקרי בין הנבדק לבין המערכת הממוחשבת הינו מקלדת אלחוטית מתוצרת Logitech הממוקמת על גבי הגה הרכב ומופעלת ע"י מחשב הממוקם בחלקו האחורי של הרכב. מימין להגה ממוקם מסך מגע המהווה את ממשק ההפעלה של המערכת (בניסויים אלו, הממשק נועד לשימוש החוקרים בלבד ואינו מופעל במהלך הנהיגה). רמקולים הממוקמים בתוך הרכב מאפשרים את האינטראקציה האודיטורית של המערכת עם הנהג. תוכנת ה-ICT נכתבה על פלטפורמת LABVIEW גרסה 8, וקבצי הקול השונים- שאלות, תשובות והודעות הוקלטו בפורמט WAVE. לאחר כתיבת התוכנית והשמת קבצי הקול שהוקלטו בתוך מאגר ממוחשב, בוצע תהליך של הבטחת איכות, במהלכו נערכו הרצות רבות של התוכנה על-מנת לבדוק את תקינות המערכת ויציבותה, בהתאם לאפיון שבוצע.

כתיבה ותיקוף השאלות

על-מנת לעמוד בדרישות האפיון נבנה מאגר שאלות ותשובות מקיף, המכיל כ- 210 שאלות ומספר זהה של קבצי תשובות. בכדי לדרג את קושי השאלות בצורה



אובייקטיבית, נערך תיקוף של כל השאלות במאגר. התיקוף התבצע בשלושה סבבים שונים והקיף 90 נשאלים, כולם סטודנטים או חברי סגל זוטרי במחלקה להנדסת תעשייה וניהול באוניברסיטת בן-גוריון בנגב. הסבב הראשון כלל 40 נשאלים- כל נשאל התבקש לדרג 25 שאלות מסוימות מתוך המאגר שנכתב, לפי סולם קושי של 1-9 (1- קל מאוד, 9- קשה מאוד), כאשר נאמר לנשאל לנסות ולהעריך את קושי השאלות בצורה אובייקטיבית. כל נשאל קיבל גרסא בלעדית של שאלון, בה סדר השאלות היה שונה מכל שאר הגרסאות בכדי למנוע מצב של אי-תקפות סטטיסטית. לאחר איסוף נתוני השאלונים בוצעה הוצאת חריגים לפי גבולות בקרה של 2 סטיות תקן. סה"כ תוקפו 100 שאלות בסבב זה.

הסבב השני היה זהה בהיקפו לסבב הראשון, תוקפו 100 שאלות חדשות על-ידי 40 נשאלים שונים. סבב התיקוף השלישי נועד להשלמת מאגר השאלות, ובו תוקפו 10 שאלות על-ידי 10 נשאלים. גם בסבב התיקוף השני וגם בסבב השלישי נשמר תנאי הגרסאות הבלעדיות כפי שבוצע בסבב הראשון.

הערכה ובחינה של מערך ניסוי ראשוני –שלב "פיילוט"

בניסוי זה נבחנו שני תנאים: נהיגה ממושכת ללא הפעלת המטלה ונהיגה ממושכת תוך הפעלת המטלה בזמנים קבועים במהלך הנהיגה. שלב זה כלל בדיקה של מבנה הניסוי, בחינת תסריטי הנהיגה ובדיקת ההשפעה של מטלת ה-ICT. במחקר השתתפו חמישה נבדקים כאשר כל נבדק הוזמן ל-3 מפגשים, מפגש הכרות עם המערכת ותסריט הנהיגה, שני מפגשי ניסוי. אחד כלל את הפעלת מערכת ה-ICT והאחר ללא המערכת. שני המפגשים נערכו בשיטת האיזון החוזר.

שיטה

תסריט הנהיגה

תסריט הנהיגה מדמה כביש דו-סטר, בנוף מדברי עם צמחייה מועטה לצידי הכביש, בעל נפח תנועה נמוך ומספר עיקולים מתונים. תסריט מונוטוני מסוג זה נועד להאיץ את תהליכי העייפות במהלך הנהיגה. בארבעה מקטעים במהלך הנהיגה הופיעו אירועים קצרים, פתאומיים ושונים כגון מחסומים והולכי רגל החוצים את הכביש, זאת לצורך בחינת ערנות הנהג. לצורך שלב מחקרי זה תוכנתו שלוש דרכים בעלות סדר אירועים שונה בכדי למזער את יכולת הנבדק לצפות את אשר צפוי להתרחש במהלך הנהיגה. משך הנהיגה היה כשעתיים ובמהלכה נתבקשו הנהגים לשמור על מהירות קבועה של 90 קמ"ש בהתאם לתנאי הדרך.



תרשים 6: דוגמא למסלול הנהיגה

מדדים סובייקטיביים

המדדים הסובייקטיביים מתייחסים למצבו הנפשי/פיזי של הנבדק לאורך הניסוי כפי שהוא נתפס על-ידי הנבדק בעצמו. במחקר זה נעשה שימוש ב-3 סוגי שאלונים, NSA- TLX, SOFI, ושאלון הערכה למערכת ה- ICT. שאלון זה נכתב ותוקף על-ידי צוות הניסוי ומטרתו לספק אינדיקציה לגבי יעילותה של המערכת בעיכוב תסמיני העייפות בנהיגה בעיני הנבדק. כמו כן משמש השאלון כמשוב עבור צוות הניסוי לגבי תקלות הקיימות במערכת ו/או רעיונות לשיפורה. השאלון מורכב מ-14 שאלות בסולם של 1-9.

פרוטוקול הניסוי

הניסוי הכיל שלושה מפגשים עבור כל נבדק: מפגש הכרות, מפגש בו נערכת נהיגה בסימולאטור ללא הפעלת מערכת ICT ומפגש בו נערכת נהיגה בה מופעלת מערכת ICT. חלקם של הנבדקים ביצעו את הנסיעה ללא הפעלת המערכת במפגש הניסוי הראשון ויתר הנבדקים ביצעו אותה במפגש הניסוי השני. כל שלושת המפגשים נערכו בטווח זמן של בין 3 ל-7 ימים.

נבדקים

הנבדקים היו סטודנטים בריאים, נשים וגברים, בטווח גילאים של 23-35 שנים, בעלי ניסיון מינימאלי של 5 שנות נהיגה. כל הנבדקים בעלי BMI (BODY MASS INDEX) -18.5-25. כל הנבדקים אינם מעשנים וצרכנים מתונים של קפאין (אינם צורכים כמות הגדולה מ-4 כוסות קפה ביום).

מפגש הכרות

הנבדק הגיע למעבדת הסימולאטור בפעם הראשונה לצורך הכרות עם המערכת. תחילה קיבל הנבדק סיור קצר במעבדת הסימולאטור, הסברים על הניסוי וחתם על חוזה. לאחר מכן נהג את תרחיש ההכרות במשך שעתיים, כאשר צוות הניסוי מלווה את נהיגתו.



בהסברים כיצד יש להפעיל את מערכת ICT ואת הסימולטור. לאחר 15 דקות מתחילת הנהיגה הפעיל צוות הניסוי את המערכת, על-ידי שימוש במסך המגע הסמוך להגה. המערכת הופעלה לפחות פעמיים, כדי להבטיח כי הנבדק מכיר היטב את המערכת.

הנחיות ומגבלות משותפות למפגשי הניסוי:

- הנבדק נדרש לישון שנת לילה מלאה ערב הניסוי- 8 שעות, ולהימנע מצריכת אלכוהול.
- בבוקר הניסוי נדרש הנבדק להימנע מצריכת מזון או משקאות המכילים קפאין.
- זמן התחלת הניסוי- 8:00 עד 10:00.
- הנבדק מלא שאלון ה- SOFI בנוגע לתחושותיו לפני תחילת הנהיגה.
- הנבדק חובר למערכת ניטור פיזיולוגית והתיישב בתוך הרכב לצורך מנוחה למשך 10 דקות לפני תחילת הנסיעה, כאשר עיניו עצומות.
- תחילת נהיגה תוך הקפדה על כללי הנהיגה שנדרשו בניסוי.
- לאחר סיום הנסיעה הנבדק שוב ביצע מנוחה של כ- 10 דקות כשעיניו עצומות לפני יציאתו מהרכב.
- בתום הניסוי הנבדק מלא שאלוני SOFI ו- NASA TLX בהתאם לתחושותיו לקראת סוף הניסוי.

נסיעה ללא הפעלת מערכת ה- ICT

מפגש זה שימש כביקורת לניסוי וכבסיס להשוואת תוצאות נסיעת המבחן בה הופעלה המערכת. הנבדק ביצע נסיעה למשך שתיים ללא שום מטלה נוספת פרט לנהיגה.

מילוי שאלונים	מנוחה(10 דקות בתוך הרכב)	נהיגה (120 דקות)		מילוי שאלון SOFI	הגעה למעבדה
		בסיס Baseline (10 דקות)			

תרשים 7: מהלך הניסוי, מפגש ביקורת.

נסיעה עם הפעלת התוכנה הקוגניטיבית

במהלך נסיעה זו התוכנה הופעלה פעמיים במהלך הנהיגה: הפעלה ראשונה לאחר ארבעים דקות מתחילת הנהיגה והפעלה שנייה לאחר שמונים דקות מתחילת הנהיגה. משך כל הפעלה של המערכת היה עשרים דקות. בנסיעה זו על הנבדק היה למלא שאלון נוסף בסוף הנסיעה- שאלון המשוב על המערכת.



הגעה למעבדה	מילוי שאלון SOFI	מנוחה 10 דקות בתוך (הרכב)	נהיגה (120 דקות)					מנוחה 10 דקות בתוך (הרכב)	מילוי שאלונים
			ביסוס (10 דקות)	30 דקות	הפעלת ICT (20 דקות)	20 דקות	הפעלת ICT (20 דקות)	20 דקות	

תרשים 8: מהלך הניסוי, מפגש הפעלת מערכת ICT.

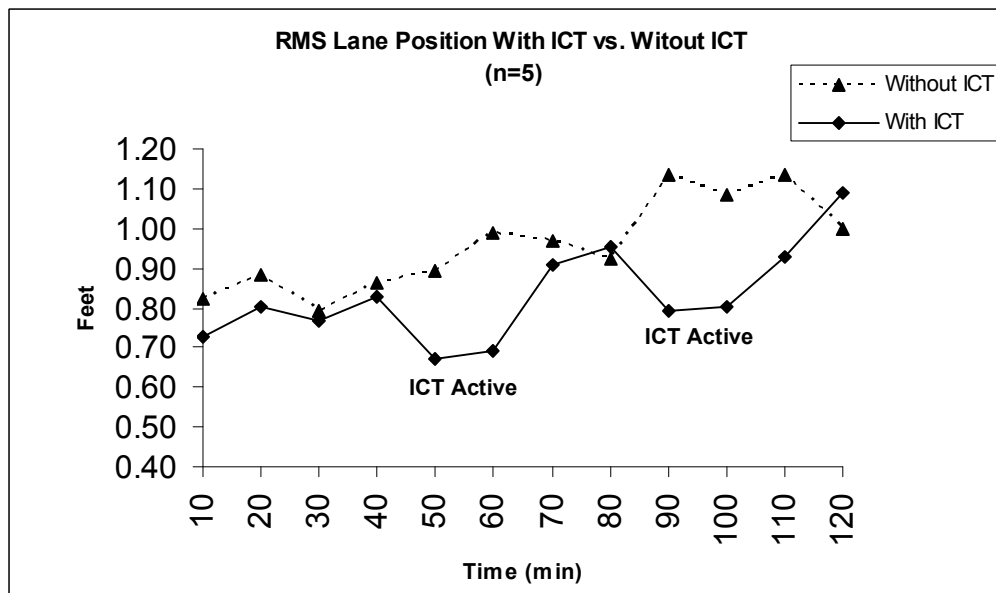
תוצאות

* התוצאות נועדו לבחינה ראשונית של מערך הניסוי ופעילות התוכנה לפני בחינה מקיפה בניסוי כולל. בחלק זה השתתפו חמישה נבדקים. התוצאות מצביעות על מגמתיות כאשר יעילות המערכת באופן מלא כולל הניתוח הסטטיסטי בוצע בחלק השני של שלב המחקר הזה.

מדדי ביצוע

הסטיות ממרכז הנתיב (RMS Lane Position)

בזמנים בהם הופעלה מטלת ה- ICT מידת הסטייה ממרכז הנתיב הייתה הנמוכה ביותר במהלך הנהיגה כולה. מיד לאחר סיום ביצוע המטלה המשנית (ICT) מידת הסטייה ממרכז הנתיב חוזרת ונהיית דומה בערכיה לתוצאות שהתקבלו במצב הביקורת.



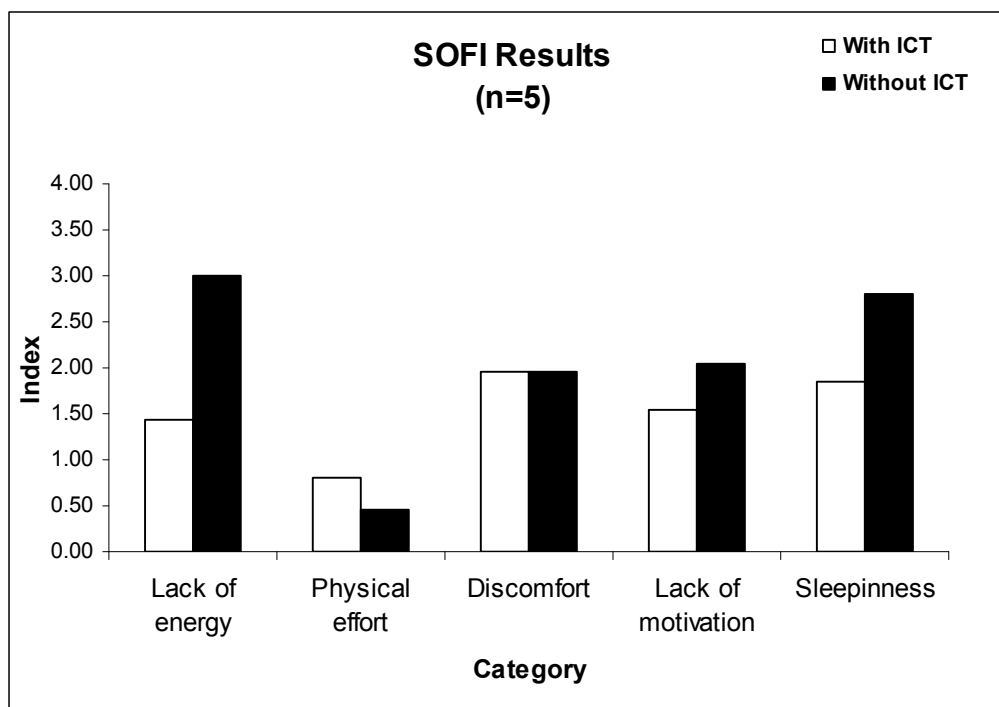
תרשים 9: שונות הסטיות ממרכז הנתיב, כפונקציה של סוג טיפול.

מדד סובייקטיבי - SOFI

תחושת העייפות ותחושת המחסור באנרגיה היו נמוכות יותר בניסוי בו הופעלה המטלה המשנית (ICT) בהשוואה למצב הביקורת (ללא מטלה זו). כמו כן, נראה כי הנבדקים



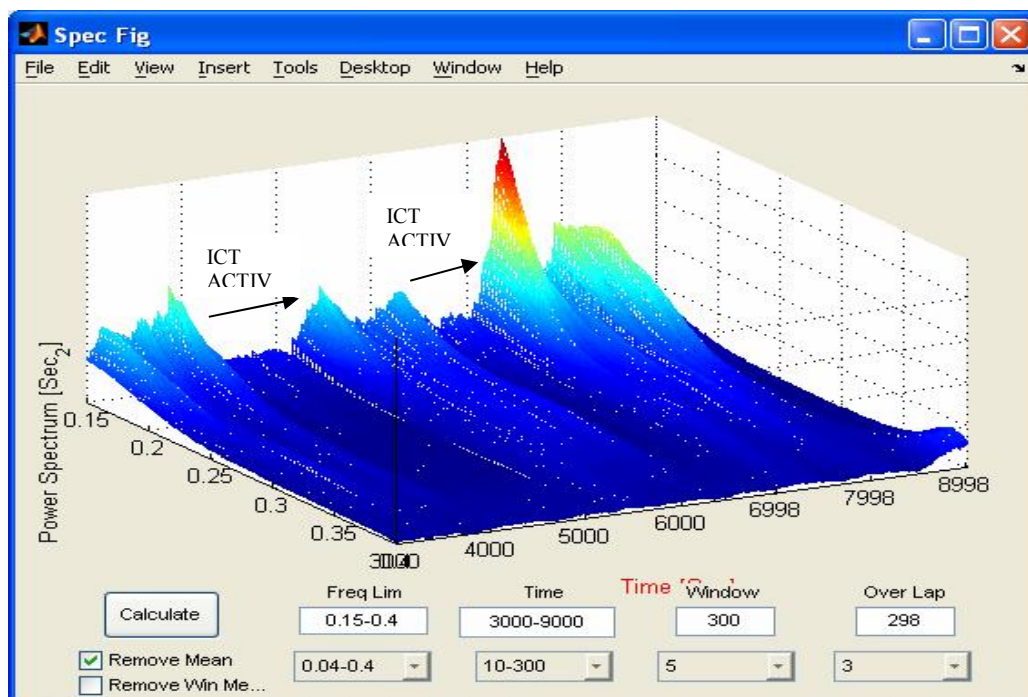
חשו תחושת מוטיבציה גבוהה יותר לביצוע הנהיגה, בניסוי הטיפול שכלל הפעלתה של מטלת ה-ICT בהשוואה למצב הביקורת.



תרשים 10: תוצאות שאלון SOFI.

מדד פיזיולוגי - HRV

התרשים המובא מטה מציג את השינויים בשונות קצב הלב בתדר הגבוה של נבדק אחד. ניתן לראות כי בעת הפעלת מערכת ICT שונות קצב הלב יורדת באופן ניכר, דבר המעיד על דריכות פיזיולוגית גבוהה יותר בהשוואה לפרקי הזמן לפני ואחרי הפעלת המערכת.



תרשים 11: דוגמה לשונות קצב לב (בתדר הגבוה), עבור נבדק אחד.



מסקנות שלב ראשון -שלב "הפיילוט"

מטלת ה – ICT הציגה יעילות בפרקי הזמן בהם הופעלה בכל המדדים שנמדדו בהשוואה לביקורת.

למרות התוצאות הנ"ל נדרשו מספר התאמות ותיקונים לפיתוח:

1. מרבית הנבדקים הראו סימני עייפות מועטים באופן יחסי בשלבים לפני ההפעלה ולכן נמצא שכדאי לבחון הפעלת התוכנה בתחילה לאחר 60 דקות נהיגה ולהאריך את משך הנהגה ל140 דקות.
2. כדי לבחון את ההשפעה במצבי ושלבי עייפות נוספים, הוחלט לבצע את הניסויים בין השעות 14:00-17:00.
3. נדרש תיקוף נרחב בהתאם לסוג השאלות ("רב אפשרויות") וקביעת כללי מעבר בין דרגות קושי השאלות.
4. בשל תנועתיות רבה של הנבדקים התקבל "רעש" רב באותות הפיזיולוגיים ולכן נדרשה התאמת המערכת הפיזיולוגית לכך.



שלב שני: יעילות ביצוע מטלה קוגניטיבית בעיכוב תסמיני עייפות בנהיגה

תקציר

שלב זה כלל שני חלקים עיקריים: בחלק הראשון יושומו כל מסקנות שעלו מניסוי ה"פילוט" בשלב הקודם, אשר כללו: ביצוע תיקוף מקיף של שאלות מערכת ICT בקרב 240 סטודנטים, בניה מחדש ושדרוג תוכנת ICT וכן תכנון פרוטוקול מחקרי חדש. השלב שני הינו שלב מחקרי אמפירי שמטרתו, בחינת יעילות מטלה משנית קוגניטיבית (ICT) בעיכוב תסמיני עייפות בנהיגה מונוטונית ממושכת. בניסוי נבחנו שני תנאים: שימוש במטלה משנית קוגניטיבית (ICT) במהלך נהיגה ממושכת של שעתיים ועשרים דקות ונהיגת ביקורת ללא מטלה משנית לאותו משך זמן. הניסויים התקיימו בין השעות 14:00 - 17:00 במעבדת הנהיגה ובחנו נהיגה בדרך בינעירונית, מונוטונית, המכילה מעט גירויים.

במחקר השתתפו עשרה נבדקים, סטודנטים לתואר ראשון, בטווח גילאים של 23 - 35 שנים, צרכני קפה מתונים ואינם מעשנים. כל נבדק השתתף בשלושה מפגשים: מפגש ראשון היה מפגש היכרות ושני המפגשים הנותרים היו מפגשי ניסוי אשר התקיימו בשיטת איזון חוזר. בניסוי טיפול שכלל שימוש במערכת ICT הופעלה המערכת פעמיים, הפעלה ראשונה לאחר 60 דקות מתחילת הנהיגה והפעלה שנייה לאחר 100 דקות מתחילת הנהיגה, כל פעם למשך 20 דקות רצופות. בכלל הניסויים נעשה שימוש בשלושה סוגי מדדים כפי שפורטו בפרק כלים ושיטות כלליות לכלל המחקרים והניסויים. תוצאות החלק זה הראו השפעה חיובית של מטלת ה-ICT בכל שלושת המדדים שנבחנו. מניתוח התוצאות ניתן לראות כי למטלה זו השפעה חיובית ומידית על ערנות הנהג אשר באה לידי ביטוי בירידה של שונות קצב הלב בשילוב עם ירידה בשונות המיקום בנתיב, ירידה בשונות הטיית ההגה וכן ירידת השונות מהמהירות הנדרשת. מבחינה סובייקטיבית הנבדקים דיווחו כי תחושת העייפות הכללית ירדה בניסויים שכללו את הפעלת המערכת וכן תחושת המוטיבציה להמשיך בנהיגה הייתה גבוהה יותר מאשר במצב הביקורת. למרות ההשפעה החיובית במהלך הפעלת התוכנה, מייד עם תום המטלה חזרה איכות הנהיגה לאותה רמה כפי שנצפתה במצב הביקורת. ניתן להסיק כי הפעלה של מטלה קוגניטיבית, המעוררת מוטיבציה ויוצרת אינטראקציה עם הנהג במהלך נהיגה בדרך מונוטונית ומתמשכת יכולה להעלות את הערנות היחסית של הנהג ולעכב תסמיני עייפות ובהתאם להוביל לנהיגה בטוחה יותר לפחות למשך הזמן בו מופעלת המטלה.



התאמות שבוצעו בעקבות מסקנות שלב הפיילוט

תיקוף שאלות מערכת ICT

בהמשך למסקנות החלק הראשון בוצע תיקוף מקיף של שאלות מערכת ICT בקרב 240 נשאלים, כולם סטודנטים. תיקוף התבצע בחמישה סבבים שונים וכל נשאל התבקש לענות על 25 שאלות מסוימות מתוך המאגר שנכתב. כל נשאל קיבל גרסה בלעדית של שאלון, בה סדר השאלות היה שונה מכל שאר הגרסאות.

שדרוג מערכת ה-ICT

בבנתה גרסה חדשה לתוכנה, משודרגת ומותאמת יותר לצורכי הניסוי ולצורכי השלבים הבאים במחקר. תוכנה זו יציבה ואמינה יותר מקודמתה ומבוססת מערכות ותוכנות חדשות ביותר. כעת מאפשרת המערכת ביצוע שינויים והתאמות בפשטות יחסית בהתאם לצורכי הניסויים השונים.

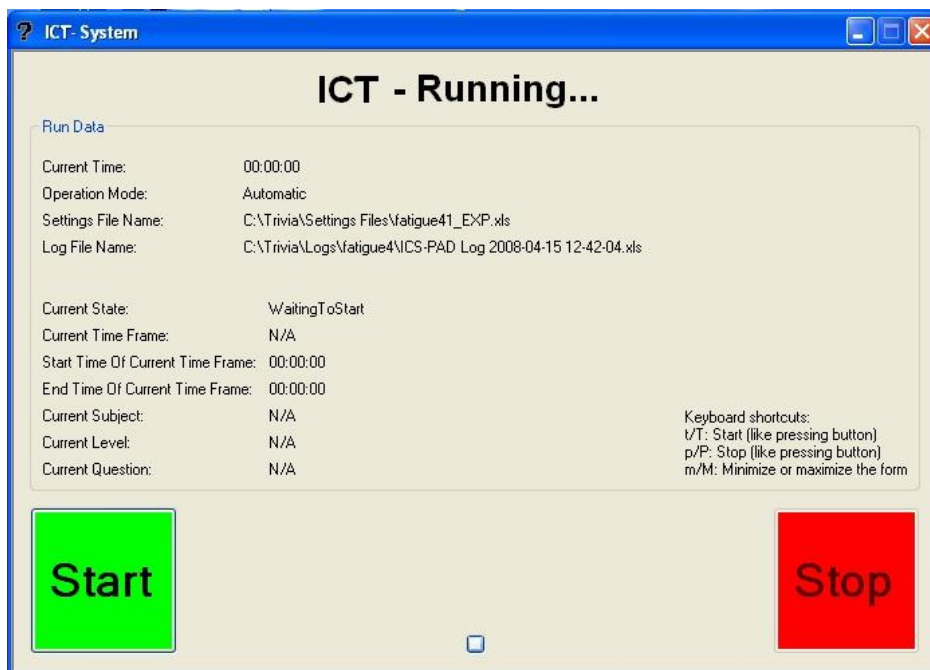
גרסה זו של התוכנה נכתבה בשפת C#, וקבצי הקול השונים- שאלות, תשובות והודעות הוקלטו בפורמט WAVE. המערכת תופעלה באמצעות מקלדת אלחוטית LOGITEC הממוקמת על הגה הרכב, כך שאופן פעולת המערכת הוא אודיטורי-מוטורי. מאגר השאלות במערכת הכיל 5 נושאים שונים- אקטואליה, ספורט, סרטים, אוכל וידע כללי, כאשר כל נושא חולק ל- 3 דרגות קושי: קל, בינוני וקשה. הנבדק יכול היה לבחור נושא מתוך הרשימה המושמעת בהתאם להעדפה אישית. לצורך מענה על השאלות נדרש הנבדק ללחוץ על אחד משישה מקשים המסומנים על המקלדת האלחוטית מ- 0 עד 5 (ראה תרשים מספר 12). מקש ספרת ה- 0 שימש להשמעה חוזרת של רשימת הנושאים ושל השאלות בהתאם לשלב בו נמצא הנבדק, מקש ספרת ה- 5 שימש לבחירת קטגוריית האקטואליה ומקשי הספרות 1-4 שימשו הן לבחירת קטגוריות (1- ספורט, 2- אוכל, 3- כללי ו-4 סרטים), והן לבחירת תשובה לשאלה (לכל שאלה 4 תשובות אופציונאליות). לאחר כל תשובה ניתן משוב קולי של המערכת לנבדק על הצלחתו. במידה וענה תשובה נכונה, השמיעה התוכנה באופן אקראי אחת ממספר הגרסאות שהוקלטו ברמת הקושי בה נמצא הנבדק. עבור תשובה נכונה, המערכת הגיבה ב "כל הכבוד" או "תשובה נכונה". במידה והתשובה שגויה השמיעה התוכנה באופן אקראי אחת ממספר גרסאות שהוקלטו עבור תשובה לא נכונה, כגון "זה פשוט לא נכון", ולאחר מכן השמיעה את התשובה הנכונה.



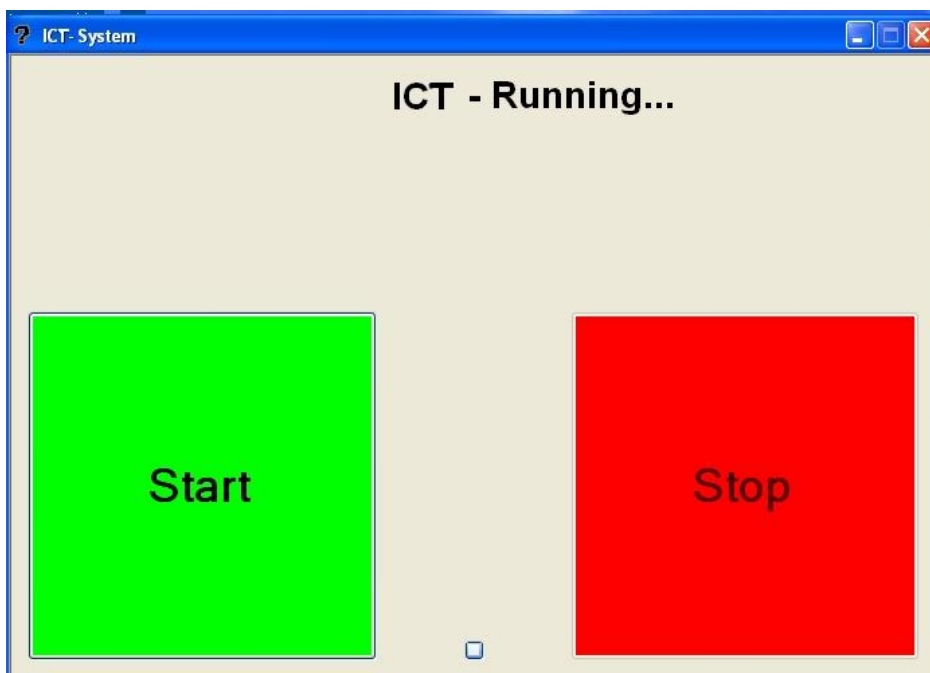
תרשים 12: מערכת ה-ICT מותקנת על הגה הסימולטור.



תרשים 13: מסך קונפיגורציה של מערכת ה-ICT.



תרשים 14: מסך מערכת ה-ICT בזמן בדיקות.



תרשים 15: מסך מערכת ה-ICT בזמן ניסוי.

עדכונים במערך הניסוי

- * בעקבות המסקנה שיש להאריך את משך הנהיגה נכתבו תרחישי נהיגה חדשים: תרחישים אלו מותאמים לנהיגה ארוכה יותר של שעתיים ועשרים דקות כדי שניתן יהיה להפעיל את התוכנה פעמיים ולקבל בין ולאחר כל הפעלה, פרקי זמן שווים.
- * בוצעה החלפת חיווט ומגבר המערכת הפיזיולוגית לקבלת אותות טובים נקיים יותר ופחות מושפעים מרעש הנובע מתנודות הנבדקים.



* בעקבות הבדלי אישיות ואופי נהיגה שנצפו בין הנבדקים השונים הוחלט להוסיף שני סוגים של מבחני אישיות אל מערך המדידות הסובייקטיבי הקיים.

1. שאלון לבחינת מתח ולחץ הנהג בזמן נהיגה (DSI – Driver Stress Inventory), שאלון אישיות המורכב מ- 41 שאלות בסולם דירוג של 0-10. השאלות מתייחסות לתחושות הנבדק בנוגע ל- 5 קטגוריות שונות: חיפוש ריגושים, אגרסיה, שנאה לנהיגה, ניטור סיכונים, ונטייה לעייפות בנהיגה.
 2. שאלון לבחינת התמודדות הנהג במצבי לחץ (DCQ – Driver Coping Questionnaire), שאלון אישיות המעריך יכולת אישית של הנבדק ובחירת אסטרטגיית התמודדות ספציפית. השאלון מורכב מ- 35 שאלות בסולם דירוג של 0-5. השאלות מתייחסות לתחושות הנבדק בנוגע ל- 5 קטגוריות הבאות: התמודדות עם עימותים (לדוגמא: הקלה על הרגשות ע"י לקיחת סיכונים), התמודדות ממוקדת-מטלה (לדוגמא: לעשות מאמץ כדי לנהוג בבטחה), התמודדות ממוקדת-רגשות (לדוגמא: לבקר את עצמך על שגיאות), התמודדות של הערכה מחדש (לדוגמא: הסתכלות על נהיגה כניסיון לימודי) והתמודדות ע"י התעלמות (לדוגמא: ניסיון להדחיק רגשות שליליים).
- יש לציין כי שאלונים אלו לא הצביעו על רגישות להבדלים הקשורים לעייפות ונהיגה ולכן לא היה טעם לעשות בהם שימוש בהמשך המחקר.

שיטה

בדומה לשלב הפיילוט, הניסוי הכיל שלושה מפגשים עבור כל נבדק: מפגש הכרות, מפגש בו נערכת נהיגה בסימולאטור ללא הפעלת מערכת ICT ומפגש בו נערכת נהיגה בה מופעלת המערכת. 50% מהנבדקים ביצעו את הנסיעה ללא הפעלת המערכת במפגש הניסוי הראשון ויתר הנבדקים ביצעו את המטלה במפגש הניסוי הראשון. כל שלושת המפגשים נערכו בטווח זמן של בין 3 ל-7 ימים.

נבדקים

10 סטודנטים בריאים, נשים וגברים, בטווח גילאים של 23-35 שנים, בעלי ניסיון מינימאלי של 5 שנות נהיגה. כל הנבדקים בעלי BMI (BODY MASS INDEX) 18.5 - 25. כל הנבדקים אינם מעשנים ואינם צורכים כמות הגדולה מ- 4 כוסות קפה ביום.

הנחיות ומגבלות משותפות למפגשי הניסוי:

- הנבדק נדרש לישון שנת לילה מלאה ערב הניסוי- 8 שעות, ולהימנע מצריכת אלכוהול.
- בבוקר הניסוי נדרש הנבדק להימנע מצריכת מזון או משקאות המכילים קפאין.
- זמן התחלת בשלב זה היה בין- 14:00 עד 17:00.
- הנבדק מלא שאלון ה-SOFI בנוגע לתחושותיו לפני תחילת הנהיגה.



- הנבדק חובר למערכת ניטור פיזיולוגית והתיישב בתוך הרכב לצורך מנוחה למשך 10 דקות לפני תחילת הנסיעה, כאשר עיניו עצומות.
- לאחר מכן התחיל לנהוג תוך הקפדה על כללי הנהיגה שנדרשו בניסוי.
- לאחר סיום הנסיעה הנבדק שוב ביצע מנוחה של כ- 10 דקות כשעיניו עצומות לפני יציאתו מהרכב.
- בתום הניסוי הנבדק מלא שאלוני SOFI ו- NASA TLX בהתאם לתחושותיו לקראת סוף הניסוי.
- שאלוני האישיות מולאו בתחילת מפגש ההיכרות, לאחר חתימת טופסי ההסכמה

פרוטוקול הניסוי

מפגש הכרות

הנבדק הגיע למעבדת הסימולאטור בפעם הראשונה לצורך הכרות עם המערכת. תחילה נערך לנבדק סיור קצר במעבדת הסימולאטור, הסברים על הניסוי וחתימה על טפסי ההסכמה. לאחר מכן נהג את תרחיש ההכרות במשך שעתיים ועשרים דקות, כאשר צוות הניסוי מלווה את נהיגתו בהסברים כיצד יש להפעיל את מערכת ICT ואת הסימולאטור. לאחר 15 דקות מתחילת הנהיגה הפעיל צוות הניסוי את המערכת, על-ידי שימוש במסך המגע הסמוך להגה. המערכת הופעלה לפחות פעמיים, כדי להבטיח כי הנבדק מכיר היטב את המערכת.

מצב הביקורת - נסיעה ללא הפעלת מערכת ה-ICT

מפגש זה שמש כבסיס להשוואת תוצאות הניסוי בו הופעלה המערכת. הנבדק ביצע את הנסיעה ללא שום מטלה נוספת פרט לנהיגה.

מילוי שאלונים	מנוחה(10 דקות בתוך הרכב)	נהיגה (140 דקות)		מילוי שאלון SOFI	הגעה למעבדה
		בסיס Baseline (10 דקות)			

תרשים 16: מהלך הניסוי, מפגש ביקורת.

נסיעה שכללה הפעלת מטלה משנית הקוגניטיבית (ICT)

בניסוי זה הופעלה המטלה פעמיים במהלך הנהיגה הפעלה ראשונה לאחר שישים דקות מתחילת הנהיגה והפעלה שנייה לאחר מאה דקות מתחילת הנהיגה. משך כל הפעלה של המערכת היה עשרים דקות. בתום נסיעה זו נתבקש הנבדק למלא את שאלון המשוב על המערכת.



הגעה למעבדה	מילוי שאלון SOFI	מנוחה(10 דקות בתוך הרכב)	נהיגה (140 דקות)					מנוחה(10 דקות בתוך הרכב)	מילוי שאלונים
			ביסוס (10 דקות)	50 דקות	הפעלת ICT (20 דקות)	20 דקות	הפעלת ICT (20 דקות)		

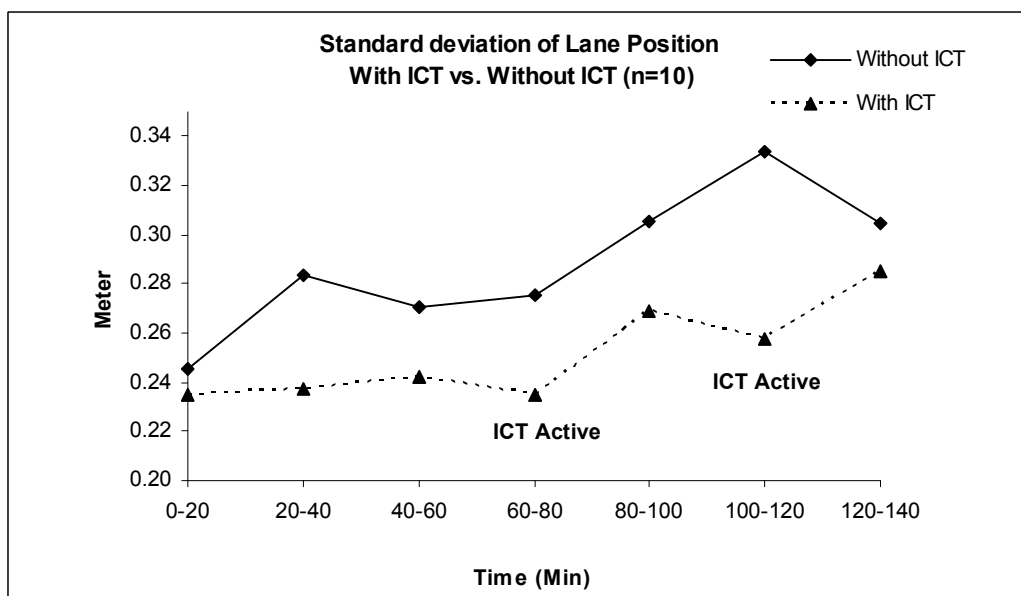
תרשים 17: מהלך הניסוי, מפגש הפעלת מערכת ICT.

תוצאות

מדדי ביצוע

ממוצע שונות מיקום בנתיב

שונות המיקום בנתיב הייתה נמוכה יותר בשתי הפעלות ה-ICT בהשוואה למצב הביקורת $[F(1,63)=20.85, p<.001]$. בזמנים בהם הופעלה תוכנת ICT בין 60-80 דקות ובין 100-120 דקות ניתן לראות כי מידת הסטייה ממרכז הנתיב הינה הנמוכה ביותר. כלומר, הנהגים הצליחו לייצב את הרכב בנתיב הנסיעה במהלך השימוש במערכת ומיד לאחר סיום הפעלת ה-ICT מידת הסטייה ממרכז הנתיב חוזרת ונהית דומה בערכיה למידת הסטייה מהנתיב במצב הביקורת.



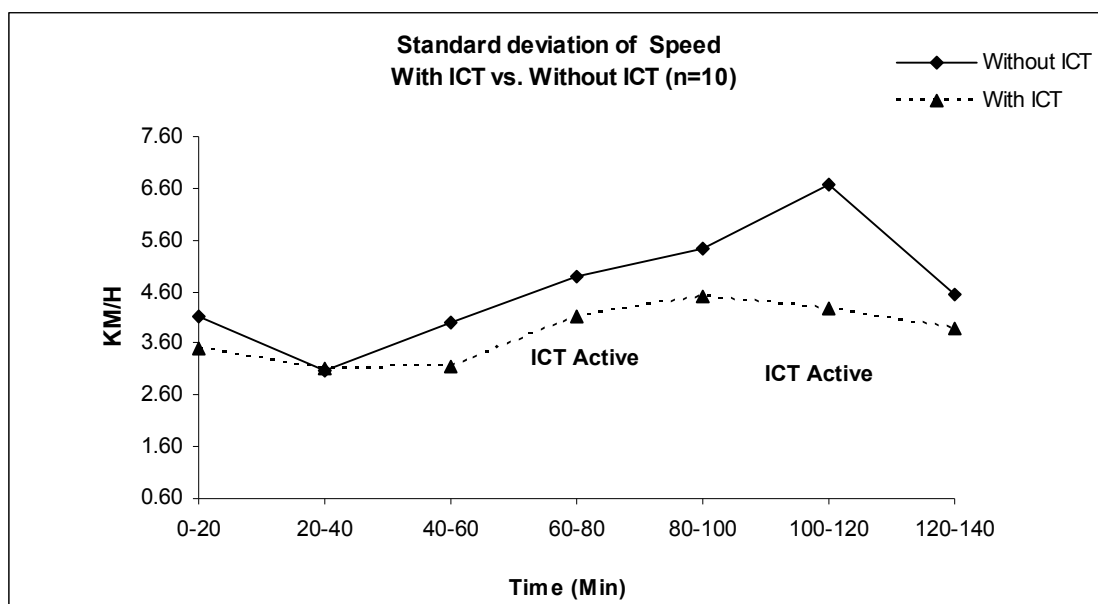
תרשים 18: השוואה של ממוצע שונות המיקום בנתיב בין ניסוי ביקורת לניסוי טיפול. תוצאות ממוצע שונות המיקום בנתיב (N=10)

* פירוט ממצאים סטטיסטיים עבור כל נקודת זמן וטיפולים ראה טבלה 1 בפרק נספחים.



ממוצע שונות מהמהירות הממוצעת

מבחן ANOVA דו-כיווני שבחן את השפעת הטיפולים על השונות ממהירות הנהיגה שנדרשה בניסוי (90 קמ"ש) הראה כי קיים הבדל מובהק בין הטיפולים השונים ובאינטראקציה בניהם. ניתן לראות כי לאחר ההפעלה הראשונה של מערכת ICT ועד תום פעולתה בפעם השנייה, כלומר בפרק הזמן שבין 80-120 דקות של הנהיגה, השונות ממהירות הנדרשת הייתה נמוכה יותר באופן משמעותי בהשוואה לאותו פרק זמן במצב הביקורת $[F(1,63)=30.11, p=.00]$. כמו כן, במדד זה נצפה אפקט מובהק של זמן במטלה המשקף את הירידה ביכולת של הנבדקים לייצב את מהירות הנסיעה ככול שזמן הנהיגה מתארך $([F(6,63)=5.25, p=.01])$.



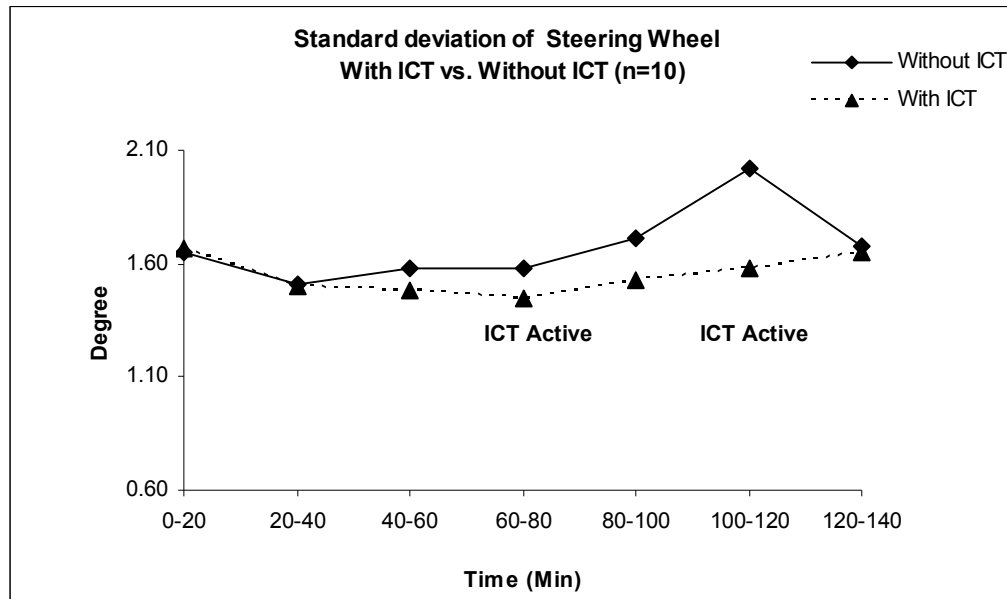
תרשים 19: השוואה של ממוצע שונות במהירות הנדרשת בין ניסוי ביקורת לניסוי טיפול

תוצאות ממוצע שונות במהירות הנדרשת (N=10)

*פירוט ממצאים סטטיסטיים עבור כל נקודת זמן וטיפולים ראה טבלה 2 בפרק נספחים.

ממוצע שונות זווית הטיית ההגה

מבחן ANOVA דו-כיווני שבחן את השפעת הטיפולים על שונות הטיית ההגה הראה כי קיים הבדל מובהק בין הטיפול למצב הביקורת. ניתן לראות כי השונות של מידת הטיית ההגה במהלך הנהיגה הייתה באופן מובהק נמוכה יותר לאורך כל זמן ההפעלה השנייה של ה- ICT בהשוואה לאותו פרק זמן במצב הביקורת $[F(1,63)=7.63, p=.01]$. השפעת המערכת מתפוגגת עם סיום הפעלתה בתנאי הטיפול ולא נצפה הבדל במידת הטיית ההגה בשני התנאים לאחר סיום המטלה.



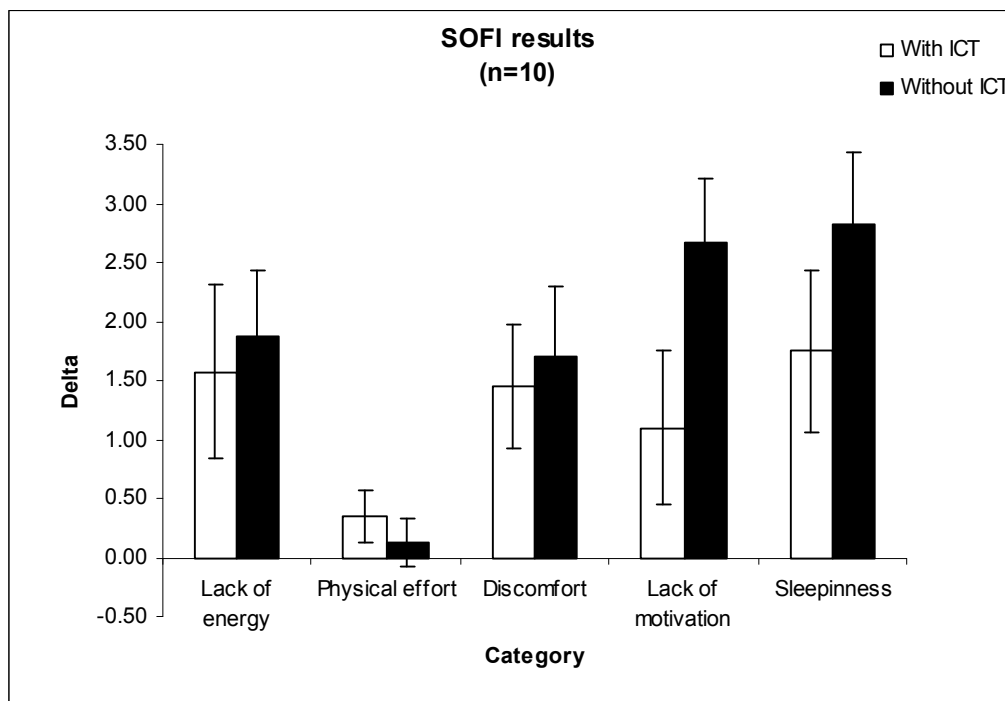
תרשים 20: השוואה של ממוצע הטיית ההגה בין ניסוי ביקורת לניסוי טיפול

תוצאות ממוצע שונות הטיית ההגה (N=10)

*פירוט ממצאים סטטיסטיים עבור כל נקודת זמן וטיפולים ראה טבלה 3 בפרק נספחים.

מדד סובייקטיבי - SOFI

מבחן ANOVA חד-כיווני של תוצאות שאלון SOFI עולה כי למטלה המשנית הייתה השפעה חיובית על ההרגשה הסובייקטיבית אותה חוו הנבדקים ביחס למצב הביקורת. תחושות העייפות הכללית, ותחושת חוסר מוטיבציה בניסוי שכלל הפעלה של מערכת ה-ICT היו נמוכות בהשוואה למצב הביקורת $[F(1,9)=8.38, p=.02]$ ו $[F(1,9)=5.74, p=.04]$. דבר המעיד כי הנבדקים הרגישו ערניים יותר וכן היו בעלי מוטיבציה גבוהה יותר להמשיך בנהיגה כתוצאה מביצוע המטלה המשנית בהשוואה למצב הביקורת.

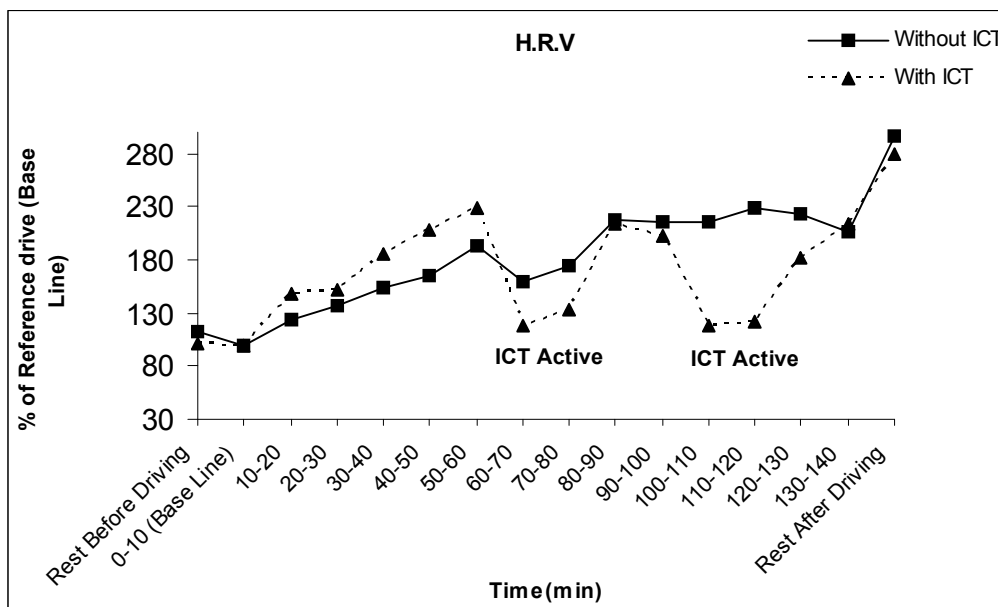


תרשים 21: תוצאות ממוצעים וטעויות תקן בשאלון סובייקטיבי SOFI (N=10).

מדד פיזיולוגי - HRV

מדד שונות קצב לב (HRV) הינו מדד יעיל להערכת רמת עייפות. שונות קצב הלב עולה כאשר אדם עייף ורגוע ויורדת כאשר האדם ערני ודרוך (Malik, 1996). בניתוח תוצאות מדד זה נעשה באמצעות מבחן ANOVA דו-כיווני אשר בחן את אחוז השינוי של המדד ביחס לתוצאות שהתקבלו מעשר הדקות הראשונות של הנהיגה בהם הנבדקים, באופן יחסי, טרם צברו עייפות. מניתוח התוצאות עולה כי ישנה השפעה מובהקת של זמן במטלה על המצב הפיזיולוגי של הנבדקים. לאורך זמן הניסוי שונות קצב הלב עלתה, דבר המעיד על הצטברות של עייפות. ניתן לראות שבשני התנאים הנבדקים סיימו את הנהיגה עייפים יותר באופן משמעותי מאשר בתחילת הנהיגה $F(15,141)=2.11$, $[p=.01]$.

ממבחן Post-Hoc עולה כי אין הבדל בתוצאות בין הניסויים בהם ביצעו הנבדקים את המטלה המשנית למצב הביקורת בפרק הזמן שקדם לביצוע המטלות. בהפעלה השנייה של המערכת החל מרגע התחלתה, במהלכה ועד תום המטלה ניתן לראות ירידה בשונות קצב המעידה על שינוי חיובי, מובהק ומשמעותי במידת ערנות הנבדקים $(p=.006)$. מגמה דומה נצפתה במהלך ההפעלה הראשונה של המטלה המשנית, אך הבדל זה לא היה מובהק.



תרשים 22: תוצאות ממוצע שונות קצב הלב (N=10).
*פירוט ממצאים סטטיסטיים עבור כל נקודת זמן וטיפולים ראה טבלה 4 בפרק נספחים.

דיון

בשלב מחקרי זה נבחנה השפעת ביצוע מטלה משנית קוגניטיבית (ICT) על נהיגה מונוטונית ומתמשכת המובילה למצב של תת-עומס. תוצאות המחקר הראו השפעה חיובית של המטלה על ביצועי הנהיגה, התחושה הסובייקטיבית והמצב הפיזיולוגי של הנהגים. מדד שונות קצב הלב הראה כי הנבדקים צברו עייפות לאורך הנהיגה ובסיומה היו עייפים יותר מאשר בתחילתה, דבר המעיד כי בנהיגה הנמשכת שעתיים ועשרים דקות הצלחנו ליצור עייפות בקרב נהגים ערניים. בכדי לבחון את השפעת המערכת יצרנו הדמיה של דרך מונוטונית, מתמשכת ודלת גירויים, אשר הובילה ליצירת מצב של תת-עומס (underload). השפעת מצב זה ניכרת בין היתר בירידה בפעילות מנטאלית וברמת הדריכות, עלייה בזמן תגובה לאירועים בלתי צפויים, עלייה בזמן עיבוד מידע וירידה בכוח קבלת החלטות. מחקרים הראו היא עייפות וחוסר הדריכות בנהיגה מונוטונית נגרמת לעיתים כתוצאה ממחסור בפעילות מנטאלית. על כן, הוספת מטלות משניות במצב של תת-עומס נועד ליצור גירוי קוגניטיבי ובכך לאזן את רמת העומס ולאפשר לנהג להסתגל לדרישות מטלת הנהיגה.

בחינה מדוקדקת של תוצאות מדדי הביצוע והמדד הפיזיולוגי מראה כי להפעלתה של מטלת ה-ICT קיימת השפעה חיובית ומידית על רמת ערנות הנבדקים. השפעה זו באה לידי ביטוי בירידה בשונות קצב הלב בשילוב עם ירידה במידת הסטיות מהנתיב, יכולת שמירת מהירות טובה יותר וירידה במידת תיקוני ההגה אותם מבצעים הנהגים בכדי לשמר את מרכז נתיב הנסיעה. השפעות חיוביות אלו היו אף חזקות יותר במהלך ההפעלה השנייה של המערכת (לאחר 100 דקות נסיעה). באופן כללי השפעותיה של מטלת ה-ICT היו מקומיות בלבד, הן נעלמו לחלוטין עם סיום המטלה. לכן עם סיום



האינטראקציה עם מטלת ה-ICT רמת הביצועים בניסוי הטיפול ירד עד למצב בו היא זהה לתוצאות שהתקבלו במצב הביקורת הן מבחינת ביצועי הנהיגה והן מבחינת מידת הערנות הפיזיולוגית.

מתוצאות מדדים הסובייקטיביים ניתן ללמוד כי מטלת ה-ICT בעלת השפעה על המוטיבציה של נהגים במצבי עייפות. מחקרים הראו כי הוספת מטלה משנית לנהיגה לצורך יצירת גירויי חייבת לקחת בחשבון את מוטיבציית הנהג לבצע מטלה זו. Matthews & Desmond (1997) ציינו במחקרם כי לנהגים עייפים ישנה יכולת לשפר ביצועים לאורך זמן אם מצליחים לעורר אצלם מוטיבציה וליצור מניע חזק מספיק. בדיקות שנערכו בתנאי נהיגת אמת ברכבות הראו כי נהגי הקטר הצליחו להגיב בצורה טובה למטלות משניות פשוטות גם כאשר היו ברמות דריכות נמוכות מאוד, היות ומטלות מסוג זה שלא דורשות משאבים קוגניטיביים ולא יוצרות תחושת מוטיבציה יהפכו מהר מאוד לאוטומטיות, ולכן יאבדו את כוחן כמטלה משנית מעוררת (Fruhstorfer et al, 1977).

במחקר הנוכחי, למטלת ה-ICT הייתה השפעה חיובית על תחושת העייפות של הנבדקים וכן על מידת המוטיבציה שלהם להמשיך ולבצע את הנהיגה. השפעה זו באה לידי ביטוי בירידה בתחושת העייפות הכללית וכן ירידה בתחושת חוסר המוטיבציה. רוב הנהגים דווחו כי היה להם קל יותר להשלים את הנהיגה בניסוי בו המערכת הופעלה תוך תחושת מוטיבציה להצליח במשחק.

תוצאות המחקר תומכות במודלים תיאורטיים שונים של תת-עומס, הטוענים כי עייפות בנהיגה יכולה להיווצר לא רק ממחסור במשאבים הנגרמים לדוגמה כתוצאה ממחסור בשינה, אלא גם בתנאים מסוימים הכוללים מידת גירויי נמוכה בשילוב עם רמת מוטיבציה נמוכה בקרב נהגים שאינם סובלים ממחסור במשאבי קשב. (Desmond & Matthews, 1997; Matthews, 2002; Young & Stanton, 2002).

ממצאי המחקר הנוכחי מראים כי הוספה של מטלה משנית קוגניטיבית לצורך ביצוע מניפולציה לעומס העבודה של הנהג, עקביים עם מחקרים קודמים שנעשו בתחום (Verwey & Zaidel, 1999; Oron-Gilad et al., 2007) ומדגימים כי מטלה משנית המעוררת מוטיבציה בקרב הנהג, מגבירה את עומס העבודה ברמה מספקת בכדי שהנהג ישפר גם את ביצועי המטלה הראשית, מטלת הנהיגה.

מסקנות

ממצאי השלב הנוכחי במחקר הראו שגירוי קוגניטיבי מסוג שניתן בביצוע מטלת ה-ICT במצב של תת-עומס אינו פוגע בהקצאת משאבי קשב למטלת הנהיגה ויש בו את הפוטנציאל להעלות את רמת העוררות היחסית ולעכב תסמיני עייפות בנהיגה מתמשכת.



כל שלושת סוגי המדדים בהם נעשה שימוש מראים כי למטלת ה-ICT השפעה מקומית אשר מוגבלת לזמן ביצוע המטלה בהעלאת ערנות הנהג. תפקידן של מערכת כדוגמת מערכת זו עשוי להצביע על החשיבות בשמירת רמת הערנות של הנהגים במצבי נהיגה דוגמת אלו שנבחנו במטרה למזער מצבי נהיגה מסוכנים הנגרמים כתוצאה מתת-עומס. מערכות כדוגמת מערכת ה-ICT שפותחה לצורך המחקר הנוכחי מדגישה את החשיבות להעלאת העוררות של הנהג עם ריבוי מערכות טכנולוגיות המתבססות על אוטומציה אשר עשויות להפחית את מעורבות הנהג במטלת הנהיגה ועלולות להוביל למצב תת-עומס הגורם לירידה ברמת הערנות ולחוסר תשומת לב (כדוגמת Cruise Control, מערכות חישה לזיהוי ושמירה אוטומטית על מרחק בין כלי רכב ועוד). בנוסף, המחקר מספק הוכחה אמפירית לטענה כי ביצוע מטלה משנית קוגניטיבית במהלך נהיגה בתנאים של תת-עומס לא חייב לצרוך כמות רבה של משאבי קשב והנהגים יכולים לבצע את שתי המטלות בו זמנית באופן מוצלח בתנאי דרך כמו אלו בהם נעשה שימוש. מבחינה סובייקטיבית העלייה בתחושת הערנות ובתחושת המוטיבציה מצגיה את הפוטנציאל והאטרקטיביות לשימוש במערכות דוגמת זו.



שלב שלישי: השוואה יעילות שיטות שונות בעיכוב תסמיני עייפות בנהיגה ממושכת

תקציר

מטרת שלב זה במחקר הינה להשוות בין שיטות שונות לעיכוב תסמיני עייפות המופיעים במהלך נהיגה ממושכת ומונוטונית. השיטות שנבחנו בשלב זה במחקר נבחרו בהתבסס על שלבי המחקר הקודמים (שלבים 1-2) ובהתייחסות לתוצאות מחקרים קודמים שבוצעו במעבדה. המחקר התבצע בסימולאטור נהיגה במעבדה לארגונומיה באוניברסיטת בן-גוריון בנגב וכלל שני שלבים. שלב ראשון, שלב פיילוט שהכיל 3 נבדקים ובו נבחן מבנה ומערך הניסוי. השלב השני, שלב הניסוי בו השתתפו 15 נבדקים. כל נבדק השתתף בסדרה של חמישה מפגשים ובכל מפגש ניתן לנבדק טיפול שונה. מפגש ראשון היה מפגש הכרות בדומה לשלב הקודם כאשר סדר המפגשים הנותרים נקבע בשיטת איזון חוזר. מפגשי הניסוי כללו את הטיפולים הבאים: שתיית משקה אנרגיה, ביצוע מטלה משנית מוטורית פשוטה (פיצוח גרעינים), ביצוע מטלה משנית קוגניטיבית (ICT) ומצב ביקורת. כלל מפגשי הניסוי התקיימו בשעות הבוקר המוקדמות כאשר הנהיגה ארכה כשעתיים. במהלך מפגשי הניסוי בהם בוצעה מטלת ICT/פיצוח הגרעינים, נדרש הנבדק לבצע את המטלה לאחר שעה של נהיגה ולמשך 40 דקות רצופות. בניסוי נעשה שימוש בשלושה סוגי מדדים: מדדים פיזיולוגיים, מדדי ביצוע ומדדים סובייקטיביים.

תוצאות המחקר הראו השפעה חיובית ומגמה דומה של מטלת ICT ומטלת פיצוח הגרעינים על המדדים הפיזיולוגיים והסובייקטיביים ביחס למצב הביקורת. כמו כן מניתוח מדדי הביצוע ניתן לראות השפעה חיובית, נקודתית של מטלת ה-ICT ומייד עם תום הפעלתה חזרה איכות הנהיגה לאותה רמה כפי שנצפתה במצב הביקורת. משקה האנרגיה הראה השפעה חיובית מתמשכת על מדדי ביצוע הנהיגה וכן על המדדים הפיזיולוגיים.

שיטה

הניסוי הכיל 5 מפגשים עבור כל נבדק: מפגש הכרות, מפגש ביקורת, מפגש בו נצרך משקה אנרגיה, מפגש בו הנבדק מפצח גרעינים ומפגש בו נערכת נהיגה בה מופעלת מערכת ICT. המרווח בין מפגש למפגש הוא 3-7 ימים: לא פחות מ-3 ימים בכדי למנוע השפעת למידה, ולא יותר משבוע בכדי למנוע שכחה.

נבדקים

סה"כ השתתפו במחקר זה 18 נבדקים, שלושה נבדקים השתתפו בשלב הפיילוט ו 15 נבדקים בניסוי המלא. כלל הנבדקים היו סטודנטים בריאים, נשים וגברים, בטווח גילאים של 23-35 שנים, בעלי ניסיון מינימאלי של 5 שנות נהיגה. כל הנבדקים בעלי משקל גוף



תקין (BODY MASS INDEX) - 18.5-25, אינם מעשנים וצרכני קפה מתונים (עד 4 כוסות קפה ביום).

תסריטי נהיגה

לצורך הניסוי נבנו 5 תרחישי נהיגה, תרחיש אחד עבור ניסוי ההכרות וארבעת הנותרים למפגשי הניסוי עצמם. משך זמן סימולציית נהיגה היה 120 דקות.

על-מנת ליצור תנאים שיעודדו הופעת סימפטומים של עייפות, מדמים התרחישים כביש בין-עירוני בעל שני נתיבים, ישר ומונוטוני ברובו, בעל עיקולים מעטים ותנועת רכבים מועטה. משני צידי הכביש מוקמו עצים בצפיפות נמוכה והוספו אירועים צפויים ובלתי-צפויים.

האירועים הצפויים כוללים אדם העומד מצידה הימני או השמאלי של הדרך, מכונית העוקפת מאחור וכלי-רכב מסוגים שונים הבאים מלפנים. האירועים הבלתי-צפויים כוללים אדם החוצה את הכביש מימין לשמאל, תאונה בנתיב הימני ומכונית העומדת בנתיב הימני.

בהתאם לפרוטוקול הניסוי, תוכננו חמש דרכים בהן סדר המקטעים שונה כך שהדרכים שונות והנבדק יתקשה לצפות את אשר יתרחש במהלך הנהיגה. מהירות הנסיעה המוגדרת לנבדקים היא 90 קמ"ש (בכל התרחישים הוצבו תמרורים המתירים מהירות זו).

מערכות נוספות

מערכת ה- ICT

פירוט המערכת מבנה המערכת מתואר בפרק

תוכן עניינים

12.....	רקע.....
27.....	כלים ושיטות כלליות לכלל המחקרים והניסויים.....
27.....	המערכת הניסויית.....
27.....	סימולאטור נהיגה.....
28.....	חדר בקרה.....
29.....	איסוף נתונים.....
29.....	מדדים פיזיולוגיים.....
30.....	מדדי איכות ביצועי הנהיגה.....



30.....	מדדים סובייקטיביים
	שלב המחקר
	שלב ראשון: תכנון ופיתוח מטלה משנית קוגניטיבית אינטראקטיבית וביצוע ניסוי ראשוני – שלב "פיילוט"
32.....	
33.....	תכנון ופיתוח מטלה משנית קוגניטיבית (Task-ICT INTERACTIVE COGNITIVE)
33.....	אפיון המערכת
33.....	כתיבה ובדיקת התוכנה
33.....	כתיבה ותיקוף השאלות
34.....	הערכה ובחינה של מערך ניסוי ראשוני – שלב "פיילוט"
34.....	שיטה
35.....	מדדים סובייקטיביים
35.....	פרוטוקול הניסוי
37.....	תוצאות
37.....	מדדי ביצוע
37.....	מדד סובייקטיבי - SOFI
38.....	מדד פיזיולוגי - HRV
39.....	מסקנות שלב ראשון – שלב "הפיילוט"
40.....	שלב שני: יעילות ביצוע מטלה קוגניטיבית בעיבוד תסמיני עייפות בנהיגה
40.....	תקציר
41.....	התאמות שבוצעו בעקבות מסקנות שלב הפילוט
41.....	תיקוף שאלות מערכת ICT
41.....	שדרוג מערכת ה- ICT
43.....	עדכונים במערך הניסוי
44.....	שיטה
45.....	פרוטוקול הניסוי
46.....	תוצאות
46.....	מדדי ביצוע
48.....	מדד סובייקטיבי - SOFI
49.....	מדד פיזיולוגי - HRV
50.....	דיון
51.....	מסקנות
53.....	שלב שלישי: השוואה יעילות שיטות שונות בעיבוד תסמיני עייפות בנהיגה ממושכת
53.....	שיטה
54.....	מערכות נוספות
54.....	איסוף וניתוח נתונים
55.....	פרוטוקול הניסוי
57.....	תוצאות
57.....	מדדי ביצוע
59.....	מדד סובייקטיבי - SOFI
60.....	מדד פיזיולוגי - HRV
61.....	דיון
62.....	מסקנות
64.....	שלב רביעי: בחינת יעילות השילוב בין שתי השיטות המובילות והשיטה שנמצאה יעילה ביותר
	בחינת יעילות השילוב בין מטלה קוגניטיבית וצריכת משקה אנרגיה אל מול יעילות ביצוע מטלה קוגניטיבית כמעכבי עייפות במהלך נהיגה ממושכת
65.....	שיטה
67.....	פרוטוקול הניסוי
68.....	תוצאות
68.....	מדדי הביצוע
71.....	מדדים הסובייקטיביים
73.....	מדד פיזיולוגי – HRV
74.....	דיון
76.....	סיכום כללי
81.....	המלצות למחקרי המשך
83.....	רשימת מקורות



91	נספחים
91	טבלאות נתונים סטטיסטיים: שלב שני
91	מדד' ביצוע
91	מדד פיזיולוגי
92	טבלאות נתונים סטטיסטיים: שלב שלישי
92	מדד' ביצוע
93	מדד פיזיולוגי
93	טבלאות נתונים סטטיסטיים: שלב רביעי
93	מדד' ביצוע
94	מדד פיזיולוגי



רשימת תרשימים

- תרשימים: 1: מודל U של לחץ וביצוע (HANCOCK & WARM, 1989)..... 14
- תרשימים: 2: דירוג יעילותם נתפסת של שיטות לשמירה על ערנות (NORDBAKKE S. & SEGBERG F., 2007)..... 18
- תרשימים: 3: מחשב הסימולטור והממשק האינטראקטיבי אליו מחובר..... 28
- תרשימים: 4: מכונית הסימולטור וזווית הראיה של הנהג..... 28
- תרשימים: 5: מסכי מעקב של חדר הבקרה..... 29
- תרשימים: 6: דוגמה למסלול הנהיגה..... שגיאה! הסימניה אינה מוגדרת. 36
- תרשימים: 7: מהלך הניסוי, מפגש ביקורת..... 37
- תרשימים: 8: מהלך הניסוי, מפגש הפעלת מערכת ICT..... 37
- תרשימים: 9: שונות הסטיות מהנתיב, כפונקציה של סוג טיפול..... 37
- תרשימים: 10: תוצאות שאלון SOFI..... 38
- תרשימים: 11: דוגמה לשונות כללית של קצב לב, עבור נבדק אחד..... 38
- תרשימים: 12: מערכת ה- ICT מותקנת על הגה הסימולטור..... 42
- תרשימים: 13: מסך קונפיגורציה של מערכת ה- ICT..... 42
- תרשימים: 14: מסך מערכת ה- ICT בזמן בדיקות..... 43
- תרשימים: 15: מסך מערכת ה- ICT בזמן ניסוי..... 43
- תרשימים: 16: מהלך הניסוי, מפגש ביקורת..... 45
- תרשימים: 17: מהלך הניסוי, מפגש הפעלת מערכת ICT..... 46
- תרשימים: 18: השוואה של ממוצע שונות המיקום בנתיב בין ניסוי ביקורת לניסוי טיפול..... 46
- תרשימים: 19: השוואה של ממוצע שונות במהירות הנדרשת בין ניסוי ביקורת לניסוי טיפול..... 47
- תרשימים: 20: השוואה של ממוצע הטיית ההגה בין ניסוי ביקורת לניסוי טיפול..... 48
- תרשימים: 21: תוצאות ממוצע שאלון סובייקטיבי SOFI (N=10)..... 49
- תרשימים: 22: תוצאות ממוצע שונות קצב הלב (N=10)..... 50
- תרשימים: 23: מהלך הניסוי, מפגש ביקורת..... 55
- תרשימים: 24: מהלך הניסוי, מפגש הפעלת מערכת ICT..... 55
- תרשימים: 25: מהלך הניסוי, מפגש הכולל שתיית משקה אנרגיה..... 56
- תרשימים: 26: מהלך הניסוי, מפגש הכולל מטלה מוטורית פשוטה..... 56
- תרשימים: 27: השוואה של ממוצע שונות המיקום בנתיב בין ניסוי ביקורת לניסוי טיפול..... 58
- תרשימים: 28: תוצאות ממוצע שונות הטיית ההגה (N=15)..... 59
- תרשימים: 29: תוצאות שאלון SOFI..... 60
- תרשימים: 30: שונות קצב לב, כפונקציה של מטלה מוטורית פשוטה, הפעלת ה- ICT, שתיית משקה אנרגיה וללא טיפול..... 61
- תרשימים: 31: מהלך הניסוי, מפגש ביקורת..... 67
- תרשימים: 32: מהלך הניסוי, מפגש הפעלת מערכת ICT..... 67
- תרשימים: 33: מהלך הניסוי, מפגש הפעלת מערכת ICT ומשקה אנרגיה..... 68
- תרשימים: 34: סטיית התקן של מיקום הרכב בנתיב כפונקציה של סוג טיפול (ICT), משקה אנרגיה ו ICT או ללא טיפול)..... 69
- תרשימים: 35: סטיית התקן של מהירות הנסיעה הממוצעת כפונקציה של סוג טיפול (ICT), משקה אנרגיה ו ICT או ללא טיפול)..... 70



תרשים 36 : סטיית התקן של הטיות ההגה כפונקציה של סוג טיפול (ICT, משקה אנרגיה ו ICT או ללא טיפול).....	71
תרשים 37 : תוצאות שאלון ה SOFI.....	72
תרשים 38 : תוצאות שאלון ה NASA-TLX.....	72
תרשים 39 : ממוצע שונות קצב הלב כפונקציה של סוג טיפול (ICT, משקה אנרגיה ו ICT או ללא טיפול).....	74



רשימת טבלאות

טבלה 1 : שונות ממוצעת של המיקום בנתיב.....	91
טבלה 2 : שונות מהמהירות הממוצעת:.....	91
טבלה 3 : שונות ממוצעת של הטיית ההגה.....	91
טבלה 4 : שונות קצב לב (HRV):.....	91
טבלה 5 : שונות ממוצעת של המיקום בנתיב.....	92
טבלה 6 : שונות ממוצעת של הטיית ההגה.....	92
טבלה 7 : שונות קצב לב (HRV).....	93
טבלה 8 : שונות ממוצעת של המיקום בנתיב.....	93
טבלה 9 : שונות מהמהירות הממוצעת:.....	94
טבלה 10 : שונות ממוצעת של הטיית ההגה.....	94
טבלה 11 : שונות קצב לב (HRV).....	94



רקע

תאונות הדרכים הינן גורם מוביל לתמותה בכלל המדינות המתועשות בעולם ומסיכום כולל עולה כי בשנת 2000 נהרגו כ- 1.26 מיליון אנשים ברחבי העולם כתוצאה מתאונות אלו (Broughton et al., 2003). ארגון הבריאות העולמי (WHO) מעריך כי בשנת 2020 אחוז הנפגעים מתאונות הדרכים בעולם יגדל לכ- 8.4 מיליון נפגעים ועלותן הכוללת תהווה מ- 1% ועד 2% מהתל"ג במדינה כלומר הערכה עולמית של 518 ביליון דולר כל שנה (Donoho, 1996). ניתוח תאונות הדרכים בארה"ב מעלה כי כמות הנפגעים בתאונות דרכים בשנה, גדולה מהתמותה עקב שתי המחלות המובילות בעולם גם יחד, מחלות לב וסרטן. מ- 1928 ועד 1988 נהרגו בארה"ב למעלה מ- 2.5 מיליון אנשים בתאונות דרכים, כאשר בין השנים 1977 - 1988 נהרגו יותר אנשים בתאונות דרכים מאשר אלו שנהרגו בכל מלחמות ארה"ב גם יחד (Donoho, 1996). בישראל, בין השנים 2004 - 2007, היו למעלה מ- 17,000 תאונות דרכים עם נפגעים מידי שנה, ומעל ל- 30,000 כלי רכב היו מעורבים בתאונות אלו (הלמ"ס, 2006).

כאשר בוחנים את הגורמים המובילים לתאונות דרכים ניתן לראות כי קיימים שלושה מרכיבים עיקריים: (I) הגורם האנושי - נהגים ומשתמשי דרך אחרים (II) גורם התשתיות - כבישים (III) הגורם הטכנולוגי - כלי הרכב. מבין השלושה, הגורם האנושי נתפס כתורם העיקרי לתאונות דרכים. תאונות כתוצאה מנהיגה במצב של עייפות נובעות מהגורם האנושי בלבד (Khardi & Vallet, 1994).

מסקר שנערך בארה"ב בקרב למעלה מ- 4000 נהגים עולה כי, 37% מהנשאלים דיווחו שבזמן כל שהוא בחייהם נרדמו במהלך הנהיגה ויתרה מכך, 10% מהם דיווחו כי המקרה האחרון אירע להם בחודש הסמוך לביצוע הסקר. 33% מהנשאלים שדיווחו כי נרדמו במהלך ששת החודשים הקודמים לסקר, סטו מנתיבם לנתיב הנגדי או לשולי הכביש, ו- 19% גילו כי חצו את קו ההפרדה כאשר התעוררו (Royal, 2003). מסקר נוסף שנערך בארה"ב עולה כי 60% מהנהגים נהגו ברכב כשהם חשים עייפות, 4% מהם היו מעורבים בתאונות דרכים או ב"כמעט תאונה". 37% מהמשובים לסקר זה דיווחו כי נרדמו בנהיגה (אפילו לזמן קצר) לפחות פעם אחת במהלך שנת 2004 (Nabi et al., 2006).

על אף הנתונים המובאים בסקירה זו והמוצגים בספרות ובדוחות המשטרה יש לציין כי מספר התאונות המדווחות כתאונות שנגרמו כתוצאה מעייפות או הירדמות בנהיגה, הינו קטן כנראה מהספר האמיתי, לכן בדרך כלל לגורם זה מיוחס טווח תאונות רחב (באחוזים). לרוב, בתאונות הנגרמות בשל עייפות סיבה זו אינה מדווחת, הן כתוצאה מחוסר ראיות חותכות והן כתוצאה מחוסר מודעות הנהגים, שמעורבים בתאונה, לעובדה שנרדמו. על כן, סיווג תאונות דרכים כתאונות הנגרמות כתוצאה מעייפות לרוב נקבע על



סמך מאפייני התאונה (תאונות בעלות דפוסים שחוזרים על עצמם) או על פי דיווח עדי ראיה (McCartt et al., 2000). מאפיין מרכזי של תאונות הנגרמות עקב עייפות הינו סטייה מנתיב הנהיגה לנתיב הנגדי או לשולי הכביש. בהתייחס לדפוס זה, ועל פי נתוני משטרת ישראל בשנת 2006, סטייה מהנתיב היוותה גורם מרכזי (13%) מכלל הגורמים לתאונות דרכים קטלניות במדינת ישראל.

בכדי לחקור את תופעת העייפות בנהיגה יש תחילה להתייחס למושג הכללי שנקרא עייפות. עייפות הינה תופעה מורכבת אשר מוגדרת כמצב פסיכו-פיזיולוגי. מצב המאופיין בירידה ברמת הערנות והדריכות של האדם, אשר פוגע ביכולתו לבצע מטלה באופן מיטבי. בין תסמיניה נמנים: עליה בזמן תגובה, פגיעה בזיכרון, פגיעה ביכולת עיבוד מידע וקבלת החלטות, חוסר מוטיבציה להשקיע מאמץ, יעילות אישית נמוכה וחוסר נוחות סובייקטיבית (Desmond & Matthew, 2002). עייפות נחלקת לשני סוגים: הראשון, עייפות פיזית, הנגרמת בד"כ כתוצאה ממאמץ פיזי ומתבטאת באובדן היכולת להפיק כוח מקסימאלי מן השרירים. השני, עייפות מנטאלית, המתבטאת בעיקר בתחושת מחסור באנרגיה, חוסר מוטיבציה, ירידה ביעילות עבודה, פגיעה בזיכרון לטווח קצר וחוסר תשומת לב (Sallinen et al., 1998; Åhsberg et al., 2000).

באופן כללי, ההשלכות של עייפות בנהיגה באות לידי ביטוי בחוסר יכולת התמקדות, מהירות תגובה נמוכה ופגיעה ביכולת עיבוד המידע. כל אילו מובילים להתדרדרות הדרגתית בביצועי הנהגה ופגיעה ביכולתו של הנהג להגיב בצורה אפקטיבית למצבי נהיגה רגילים או למצבי חירום (Lal & Craig, 2002).

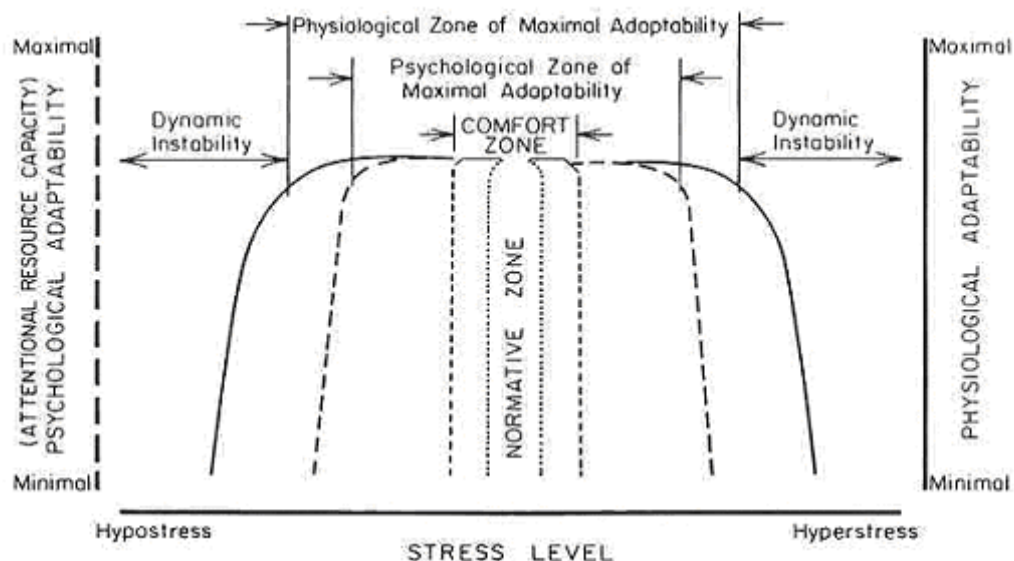
Thiffault et al. (2003) דנים במאמרם בגורמים לעייפות נהגים ועושים הבחנה בין גורמים הנובעים ממקור פנימי לבין אלו הנובעים ממקור חיצוני. הגורמים הנובעים ממקור פנימי כוללים שינויים צרקדיים הקשורים לשעה ביום, עייפות שנגרמה במהלך ביצוע פעולה ובעיות שינה למיניהן. שעות עבודה ארוכות, נהיגה בשעות לילה מאוחרות או אחר-הצהריים והפרעות בשינה הן כולן דוגמאות טובות לזרזים לעייפות הנובעת ממקור פנימי. לעומת זאת, מאפייני הכביש, סביבת צידי הדרך, וגורמים אחרים המגדירים את תהליך הנהיגה נקראים גורמים הנובעים ממקור חיצוני. הן גורמים הנובעים ממקור חיצוני והן אלו הנובעים ממקור פנימי עלולים לגרום לתגובות פיזיולוגיות המשפיעות על הערנות והדריכות. גורמים הנובעים ממקור פנימי וחיצוני באים באינטראקציה אחד עם השני, והשפעתם המשותפת היא זו שקובעת את רמת הערנות והדריכות בכל נקודת זמן במהלך הנהיגה. במאמר של Wijesuriya et al. (2006), צוין כי גם אישיותו של הנהג מהווה גורם המשפיע על נהיגה במצב עייפות. לדוגמא, אדם מוחצן יותר ומתוח, בעל רמות נמוכות של מרץ עם נטייה לבלבול וכעס, יהיה בעל סיכויים גבוהים יותר לחוות עייפות הקשורה לתהליך הנהיגה.



עם התפתחות הטכנולוגיה והתרחבות השימוש במערכות טכנולוגיות תוך-רכביות, הנהג מבצע פחות מטלות הדורשות פעולה פיזית (העברת הילוכים, הפניית מבטים ללוח המכוונים) והנהיגה עצמה הופכת בעיקרה למטלה הצורכת משאבים מנטאליים המושפעת הן ממצבו הקוגניטיבי והן ממצבו הפיזיולוגי ההתחלתי של הנהג.

בכדי לנסות ולהבין את עומס העבודה הכולל עמו מתמודד הנהג במהלך הנהיגה, חשוב להבין הן את העומס הפיזי הנוצר מתפעול המכונית והן את העומס המנטאלי הנוצר מהצורך לעבד את מידע ולקבל החלטות בהתאם לדרך בה הנהג נוהג, המרכיבים הסביבתיים והמטלות המשניות שעליו לבצע. העומס המנטאלי אותו חווה הנהג תלוי בין היתר בכמות וביכולת שלו להפנות קשב לביצוע המטלה.

Hancock & Warm (1989) אפיינו מודל המציג את מידת העומס כתלות של זמינות משאבים והקצאתם. המודל זה נקרא "מודלים דינאמיים של לחץ וקשב מתמשכים" (תרשים 1). בבסיסו עומד הרעיון של התאמת הקצאת משאבי קשב לדרישות המטלה. המודל מראה כי במטלות מורכבות, כדוגמת נהיגה, מתקיימת בקרה מתמשכת והתאמה של כמות המשאבים המנטאליים בהם נעשה שימוש. במקרים של רמת לחץ מתונה, יכול האדם לפצות על הדינאמיות שקיימת בסביבת העבודה ועדיין לבצע את המטלה באופן אופטימאלי. אולם, קיימים שני מצבים אחרים המאופיינים בחוסר יציבות וביצוע לקוי של המטלה. ראשון, מצב של עומס יתר בו עומס העבודה גבוה וכתוצאה ממחסור במשאבים יש ירידה ביכולת הביצוע ובמידת ההתאמה הפיזיולוגית הנדרשת. המצב שני הוא מצב של תת-עומס, בו נמצא האדם בתת-לחץ ונדרש למידה נמוכה של משאבי קשב. כתוצאה מכך מתקיימת פעילות נמוכה במערכת הפיזיולוגית העשויה גם היא להוביל לירידה באופן הביצוע. זאת מאחר שעייפות מפחיתה את יעילות הבחירה של אסטרטגיות אפשריות לויסות מאמץ.



תרשים 1: מודל U של לחץ וביצוע (Hancock & Warm, 1989)



Warm ו Hancock טוענים כי לאדם קשה יותר להסתגל למצב יתר עומס ותת-עומס, והסכנה הרבה הקיימת בעייפות הינה התאמה לקויה של מאמץ הדרוש לביצוע מוצלח של מטלה. הסתגלות לדרישות מטלה היא רלוונטית במיוחד בנהיגה, מכיוון שנהיגה כוללת שינויים מהירים בעומס העבודה (Oron-Gilad & Hancock, 2005). לדוגמא, במהלך נהיגה קיימים מצבים המעלים את הסיכוי לעומס יתר, ביניהם נהיגה באזורים צפופים, נהיגה בסביבת נהגים לא מנוסים ובעלי מוגבלויות גופניות (קצרי ראייה לדוגמא), נהיגה בכבישים משובשים וכן נהיגה בתנאי קשים (Ronen, 2003).

מצב של תת-עומס תלוי בעיקרו במשך זמן ביצוע המטלה ובקצב האירועים בסביבתה. ביצוע מתמשך עלול להוביל לירידה ברמת הערנות ולחוסר תשומת לב (De Waard & Brookhuis, 1991). לנהיגה ממושכת בדרך מונוטונית ישנו הפוטנציאל לגרום לדעיכה ברמת הערנות של הנהג, אשר עלולה להוביל למצב של תת-עומס ועייפות. על כן, נהיגה בתנאי תת-עומס מעייפת אפילו נהג אשר היה ערני בתחילתה (Gershon et al., 2007). בניסוי שביצעו Desmond ו Matthews (1997) נמצא כי כאשר נהגים עייפים נהגו בדרך תובענית וקשה (מעוקלת), הם הצליחו להתמודד עם הדרישות העולות מן הנהיגה. אולם כאשר הדרך הייתה קלה ופשוטה (ישרה), ביצועי הנהגים העייפים הידרדרו, כלומר הם לא הצליחו להשקיע מאמץ בצורה יעילה. תוצאות מחקר זה מלמדות כי באופן פרדוקסאלי נהגים עייפים נמצאים בסכנה גבוהה יותר, כאשר דרישות המטלה הינן נמוכות ומובילות למצב של תת-עומס. הוספת מטלה יכולה למנוע ניצול נמוך של מאמץ ולשמר את המחויבות האקטיבית של הנהג למטלת הנהיגה (Oron-Gilad et al., 2007).

תיאוריה נוספת אשר מנסה להסביר את אופן החלוקה של משאבי קשב והתאמתם לפעולה המורכבת ממטלות רבות הינה תיאורית המשאבים של Wickens (1992). תיאוריה זו טוענת כי לאדם כמות מוגבלת של משאבי קשב ועיבוד מידע. ירידה בביצוע היעיל של מטלה עלול להתרחש כאשר ישנו מחסור במשאבים הנדרשים לביצוע מטלה זו. כמו כן, רמת ביצוע המטלה מושפעת מיכולתו של המפעיל להקצות בצורה יעילה משאבים למטלות השונות. לדוגמא, נהג המצוי תחת עומס עבודה גבוה יצליח לשמור על שליטה אפקטיבית במכונית, אולם במחיר של ירידה ביעילות קליטה ועיבוד המידע המתקבל מסביבת הנסיעה (Oron-Gilad et al., 2007).

תיאוריה זו גורסת גם, כי קיימים מאגרים נפרדים ומוגבלים לערוצי קשב שונים. שימוש במאגר אחד לא בא על חשבון מאגר אחר, כאשר זמינותם של מאגרים הינה בלתי תלויה אחד בשני. מטלות שונות, צורכות משאבים ממאגרים שונים, לכן ביצוע מטלות המבוססות על ערוצי מידע שונים ינצל משאבים ממאגרים שונים ויאפשר ביצוע טוב של כלל המטלות. לדוגמא: מטלת הנהיגה מתבססת בעיקרה על הערוץ הוויזואלי, על כן על פי מודל זה הוספה של מטלות משניות, בתוך המכונית להתבסס על אמצעי קלט



ופלט לא ויזואליים, כגון הספקת מידע שמיעתי בתגובה לפקודות קוליות מן הנהג (Oron-Gilad et al., 2007).

מטלה משנית נפוצה במהלך נהיגה הינה שימוש בטלפון הסלולארי. אחד מיתרונותיו הנתפסים של הטלפון הסלולארי הוא האפשרות לבצע שיחות תוך כדי נהיגה, וכך זמן שנתפס בעיניי הנהג "כמבוזבז" משמש עתה לביצוע שיחות עסקיות או חברתיות (Matthews et al., 2003). בסקר שנערך בשנת 2004, נהגים רבים הודו כי פספסו יציאות מהכביש, לא ראו שלטים לאורך הדרך, איבדו שליטה על מהירותם וחוו כמעט תאונות תוך שימוש בטלפון הסלולארי במהלך הנהיגה. אף אחד מהנהגים לא דיווח על תאונה אמיתית, אבל הערכה היא שכ- 10 - 20 מקרי מוות לשנה בשוודיה נגרמים כתוצאה משימוש בטלפון סלולארי בעת הנהיגה (Kelly et al., 2005).

ממחקרים רבים אשר בחנו תופעה זו עולה כי שיחת טלפון אחת במהלך נהיגה משלשת (בקירוב) את הסיכון לתאונה. סיכון זה אף מחמיר עם כל שיחת טלפון נוספת במהלך הנהיגה (Kelly et al., 2005). לכאורה, ממצאים אלו עומדים בסתירה לתיאורית המשאבים של Wickenss מאחר ושיחה בטלפון סלולארי אינה מעמיסה את הערוץ הוויזואלי בצורה רציפה. אולם, נמצא כי ישנם שני גורמים עיקריים אשר מגבירים את הסיכוי לתאונה בעת השימוש בטלפון הסלולארי: הגורם הראשון הינו תחרות, רגעית אך קריטית, על משאבים ויזואליים ופיזיים בין נהיגה להפעלת הטלפון. במהלך ביצוע שיחה טלפונית על הנהג להוריד את עיניו מן הכביש באופן זמני. הגורם השני הינו תחרות קוגניטיבית על המשאבים הדרושים לניהול שיחת הטלפון ובין המשאבים הדרושים לנהיגה. יכולתו של האדם להפנות קשב בו זמנית לשתי המטלות מוגבלת ודורשת מאמץ מודע (Matthews et al., 2003). על כן, שימוש בדיבורית מצמצם את הגורם הראשון המגביר את הסיכוי לתאונה, אך אינו משפיע (מצמצם) על הגורם השני. חשוב לציין כי השימוש בטלפון סלולארי יפריע למהלך נהיגה תקין, כאשר הנהיגה הינה תובענית (דרך מעוקלת, מהירות משתנה ועוד) או במהלך שיחת טלפון תובענית, כלומר כאשר הנהג נמצא במצב של עומס יתר (Matthews et al., 2003).

אם כך, מדוע נהגים עייפים ממשיכים לנהוג על-אף הסכנה הברורה? מחקרים קודמים שבחנו נושא זה, יצאו מנקודת הנחה שחוסר מודעות למצבי עייפות הוא גורם מרכזי לתאונות הקשורות הירדמות בנהיגה. הסבר נוסף לתופעה זו, טמון בהנחה כי הנהג אינו מצליח לקשר בין מצבים של ניקורים (עצימת עיניים קצרה) בנהיגה והעלאת הסיכון לתאונה. בנוסף לכך, נהגים סבורים כי ביכולתם להבחין בעייפות אשר פוגעת ביכולתם לנהוג, אולם בפועל נהגים נוטים לבצע הערכת חסר עצמית. על כן נהגים נוטים לבחון את גבולות היכולת שלהם ומנסים להישאר ערניים, אפילו במצבים מסוכנים בנהיגה (Wylie et al., 1996). בניסוי שערכו Nordbakke & Sagber (2007), ניתן לראות כי באופן כללי יש לנהגים ידע נרחב באשר לגורמים השונים המשפיעים על הירדמות בזמן



הנהיגה. יתרה מזאת, רובם מודעים לשיטות היעילות ביותר להימנע מהירדמות על ההגה, ביניהן עצירה לצורך שינה קצרה. על-אף ידע זה וכפי שצוין קודם, רוב הנהגים ממשיכים לנהוג גם לאחר שחשו בעייפות. כאשר נסיעה קצרה, פגישות והרצון להגיע בשעה סבירה ליעדם הן הסיבות הנפוצות ביותר, על מנת להסביר את המשך הנהיגה על-אף תחושת העייפות.

במחקרם של Reyner & Horne (1998) ניתן לראות כי לכלל התאונות שנבעו ממחסור בשינה הופיעו סימפטומים מקדימים לעייפות הנהג. אולם, קיים החשש כי סימפטומים אלו (עלייה בתדירות מצמוצים) עלולים להתפרש ע"י הנהג כהשפעות סביבתיות (מזגן או אור) ולא דווקא כעייפות. במחקר זה נמצא כי גם לאישיות ומיומנות הנהג השפעה על היכולת להבחין בסימפטומים ראשוניים של עייפות.

כאשר בוחנים מהן השיטות בהן נוקטים נהגים על מנת להתמודד עם עייפות, מוצאים כי נהגים מאמצים לעצמם מגוון דפוסי ההתנהגות לצורך שמירה על ערנות תוך מלחמה בעייפות ובמונוטוניות הנהיגה. מחקר שנערך באוניברסיטת צפון קרוליינה עבור ארגון AAA למען בטיחות בדרכים, בחן מהן השיטות הנפוצות בקרב נהגים להתמודד עם עייפות במהלך נהיגה. השיטות העיקריות שנהגים דיווחו עליהן היו: פתיחת חלון והורדת הטמפרטורה ברכב, האזנה למוזיקה, שתיית משקאות המכילים קפאין, שתיית משקאות אנרגיה, אכילה, התעמלות, התמתחות, עצירה למנוחה, ביצוע משחקים מנטאליים, שירה והשפצת מים על הפנים (Stutts et al., 1999). מסקר שנערך בארה"ב בקרב 4010 נהגים עולה כי הפעולות השכיחות ביותר להתמודדות עם עייפות במהלך נהיגה ממושכת כללו: עצירה לנמנום (43%), פתיחת חלון (26%), שתיית משקאות הכוללים קפאין (17%), עצירה בצד הדרך (15%), הגברת עצמת השמע של הרדיו (14%), עצירה לצורך ביצוע מתיחה ו/או התעמלות (9%), החלפת נהגים (6%), אכילה (3%), שירה או שיחה עם אדם אחר ברכב (3%) (Royal, 2003). פעולות נוספות שדווחו ע"י נהגים כפעולות נפוצות לעיכוב העייפות בנהיגה הן: שיחה בטלפון הסלולארי (Oron-Gilad & Shinar, 2001), לעיסת מסטיק (Royal, 2003), משחק במשחקים הדורשים מאמץ מנטלי (Verwey & Zaidel, 1999) ושימוש בחומרים ממריצים (Horne & Reyner, 2001). בסקר מאוחר יותר שבוצע ב-2006, נהגים נתבקשו לדרג את מידת היעילות הנתפסת של השיטות בהן הם משתמשים בכדי להתמודד עם עייפות בנהיגה (תרשים 2).



תרשים 2: דירוג יעילותם נתפסת של שיטות לשמירה על ערנות (Nordbakke S. & Segberg F., 2007)

בסקר זה נמצא גם כי ניסיון הנהגים מלמד אותם על השיטות האפקטיביות להם לשמירת ערנותם וכן כי השיטה בה בוחר הנהג תלויה בין היתר בגילו. נהג מבוגר יעדיף שיטות מושכלות יותר מנהג צעיר כגון: "עצירה ומנוחה קלה" בעוד הנהג הצעיר יעדיף שיטות, שאינן דורשות יציאה מהרכב כגון: "הגברת מוזיקה", "אכילת ממתקים" ו"שירה" (Nordbakke & Segberg, 2007). מסקר נוסף אשר בחן את שכיחות השיטות השונות והנפוצות בהן משתמשים נהגים צבאיים מקצועיים להתמודדות עם עייפות, וכן את מידת היעילות הנתפסת של אותן השיטות, עלו הממצאים הבאים: 50% מהנשאלים דיווחו כי שתיית קפה או מים עוזרים מאוד לשמירה על הערנות בזמן נהיגה, 40% דיווחו כי שתייה קולה או עישון סיגריות עוזרים מאוד לשמירה על ערנות בזמן הנהיגה. 40% דיווחו כי ללעיסת מסטיק בזמן הנהיגה אין כל השפעה על רמת הערנות. ממצא נוסף מסקר זה מדגיש כי נהגים מקצועיים מודעים ליעילותה של עצירה למנוחה אולם לא נוטים לנקוט בדרך זו כדי להתמודד עם עייפות. עוד עולה מהסקר, כי שיטות כגון פיצוח גרעינים ושתיית משקה אנרגיה אינן נפוצות אך יעילותן מוערכת בקרב נהגים מקצועיים כגבוהה (Oron & Shinar, 2001).

במהלך השנים נעשו מאמצים רבים לעזור לנהג להתמודד עם עייפות בנהיגה. מאמצים אלו התרכזו בשני מישורים עיקריים: האחד, ניסיונות שונים לפתח עזרים טכנולוגיים לזיהוי והתראה על הרדמות מאחורי ההגה. המישור השני כלל ביצוע מחקרים אשר בחנו את יעילותן של שיטות אינטואיטיביות המבוצעות ע"י נהגים לצורך התמודדות עם עייפות.

במישור הטכנולוגי, פותחו עזרים לנהג כגון חישן למיקום הראש או מערכת מעקב אחר מבט העין לצורכי זיהוי והתרעה על רמת העייפות של הנהג. ניסויים שבוצעו על עזרים אלו הראו עתיד מבטיח עבור זיהוי עייפות אצל המשתמש. למרות זאת, כיום לא קיימת



מערכת רגישה ואמינה מספיק היכולה לכמת את עייפות הנהג. מכיוון שתופעת העייפות מושפעת מגורמים פיזיולוגיים, קוגניטיביים וסובייקטיביים יש צורך בגישה/פיתרון טכנולוגי שיכיל אינטגרציה של מספר פלטפורמות, ומספר חיישנים (Wylie et al., 1996).

סיבה נוספת להצלחתם המוגבלת של עזרים אלו תמונה בעובדה כי הם מתבססים על מודעות הנהג למידת העייפות בה הוא שרוי והשפעת עייפות זו על נהיגתו. כל עוד מודעות הנהג נמוכה לסכנות הנהיגה במצב של עייפות ולירידה באיכות נהיגתו, אפקטיביות עזרים אלה מוטלת בספק. ישנה סברה כי נהג במצב של עייפות אופטימי יותר לגבי יכולתו לשלוט ברכב (Horne & Reyner, 1999). שימוש במכשור טכנולוגי מסוג זה עלול אף לגרום להטיה הנובעת מהסתמכות יתר של הנהג על המכשיר עד לכדי פיתוח תלות, והצפייה כי המכשיר יתריע כאשר המצב יהיה באמת מסוכן. לכן הקריטריונים החשובים ביותר עבור מכשירים אלו הינם מידת רגישותם להחלשות הנהג ושיעור קביל של התראות שווא, בכדי למנוע מצב בו המערכת תתריע במקרים בהם אין צורך, דבר אשר יגרום למטרד עבור הנהג, יפגום באמונו בה ואף יפגע בתפקודו.

במקביל, בוצעו מחקרים רבים שבחנו את יעילותן של אותן שיטות אינטואיטיביות המבוצעות ע"י נהגים לצורך התמודדות עם עייפות. האסטרטגיה הנתפסת כיעילה ביותר בקרב הנהגים להתמודדות עם עייפות בנהיגה הינה עצירה להפסקות מנוחה אך למרות זאת נהגים רבים בוחרים שלא לבצע פעולה זו. הסיבות לכך טמונות בין היתר בלוחות זמנים צפופים, תרבות נהיגה, ומחסור באזורי מנוחה (Bonnefod et al., 2003).

מחקרים אשר בחנו את יעילותה של שיטה זו מצאו, כי נמנום בצד הדרך לפרק זמן קצר, של כ- 15 דקות, נמצא יעיל להתמודדות עם עייפות בנהיגה. נמנום לפרק זמן ארוך יותר (מעל 20 דקות) עלול להוביל לשינה עמוקה ובכך ליצור מצב המחייב תהליך ארוך יותר של התעוררות (Sagberg et al., 2004). שיטה נוספת השכיחה בקרב הנהגים לצורך התמודדות עם תחושת העייפות הינה פתיחת חלון הרכב לצורך הורדה של הטמפרטורה ברכב. כאשר אדם נחשף לטמפרטורות הגבוהות מ 28° צלסיוס, ערנותו יורדת, וניכרת פגיעה בביצועי המטלה, הן כאשר מדובר במטלות קוגניטיביות והן מטלות פשוטות המצריכות רמות שונות של דריכות. ניסוי שנערך בקרב עובדי משמרות לילה ובחן את ההשפעה של העלאת טמפרטורה במהלך העבודה הראה כי בתחילת משמרת לילה השינוי בטמפרטורה לא גרם לשינוי בביצועי העובדים בעוד שבסיום המשמרת נצפתה ירידה בביצועי העובדים עקב שינוי הטמפרטורה. דבר המעיד על כך כי לטמפרטורה גבוהה השפעה מרדימה עוד יותר כאשר מדובר באדם עייף (Bonnefod et al., 2003).

פעילות נוספת, בה נוקטים נהגים במטרה למנוע עייפות, היא שימוש בחומרים ממריצים כשהנפץ ביותר הוא קפה (Horne & Reyner, 2001). מבוגרים במדינות המערב צורכים בממוצע כ- 200-300 מ"ג קפאין ליום (3-4 כוסות קפה), שתיית 100-200 מ"ג של קפאין נמצאה מספקת לשמור על ערנות, משפרת את הדריכות ומשפיעה



משמעותית על ירידה בתחושת העייפות (Reyner & Horne et al., 2001). צריכת קפאין במינון הגבוה מ- 300 מ"ג יכולה להוביל לתופעות-לוואי שליליות כגון חוסר מנוחה, עצבנות, חרדה, התרגשות יתר, נדודי שינה, הסמקה ואי סדירות בעיכול. במינון גבוה יותר יכול לגרום לעיוות שרירים, שטף דיבור ומחשבה לא הגיוניים ופרפורי חדרי הלב (Nehlig, 1999).

לקפאין השפעות סובייקטיביות רבות כגון: העצמת תחושות של "הרגשה טובה", "אנרגטיות", "מוטיבציה", "בטחון עצמי", "ערנות" ו"ריכוז" (Reyner & Horne, 2001). מחקרים שמדדו ביצועים קוגניטיביים הוכיחו כי לקפאין השפעה על זמן תגובה, התעוררות אנרגטית ועל הערנות (Smit & Rogers, 2002). ההסבר הכימי לאופן פעולת הקפאין, הוא בכך שהקפאין חוסם את קולטני האדנוזין שבתאי מערכת העצבים המרכזית. כאשר אדנוזין נקשר לתא עצב הוא מאט את פעילות התא, תהליך המתרחש בין היתר בזמן שינה. כתוצאה מחסימת קולטני האדנוזין ע"י מולקולת הקפאין הפעילות העצבית המוגברת גוררת הגברה של קצב הלב, עליית לחץ דם, הגברת זרימת הדם לשרירים ולשחרור גלוקוז, בכך גורם הקפאין לעיכוב הופעתם של תסמיני העייפות (Reyner & Horne, 2001).

Reyner & Horne (2001) ביצעו השוואה בין השפעת צריכת קפאין, מנוחה למשך 15 דקות והשילוב של שתי שיטות אלו כמעכבות עייפות בקרב אוכלוסיית נבדקים שסבלה ממחסור בשינה. מבין שלושת הטיפולים שנבחנו, הקפאין הראה יעילות רבה יותר להתמודדות עם עייפות בהשוואה לטיפול שכלל מנוחה וזאת בעיקר כתוצאה מהקושי להירדם שחוו הנהגים למשך הזמן שנבדק. מבחינת השפעת השילוב של שתיית קפה ותנומה ל-15 דקות טיפול זה נמצא כיעיל ביותר לשמירה על ערנות היות והשפעת קפאין מגיעה לשיאה לאחר כ- 30 דקות מצריכתו ולכן לאחר השתייה והתנומה הנהג מתחיל בהנהיגה כאשר הן המנוחה והקפאין משפיעים באופן חיובי על ערנותו.

Philip et al. (2006) בדקו את השפעתם של תנומה קצרה ושל שתיית קפה על ביצועי הנהיגה ותחושות נהגים עייפים זאת בהשוואה לניסוי ביקורת שכלל שתייה של משקה דמה. המחקר התבצע בשעות הלילה המאוחרות בסביבת נהיגה אמיתית. מתוצאות המחקר עלה כי הנהגים דיווחו על עייפות נמוכה יותר לאחר שתיית הקפה ולאחר התנומה בהשוואה לניסוי ביקורת. מדדי ביצוע הנהיגה הראו כי מידת הסטייה מנתיב במצב הביקורת הייתה גבוהה פי 3.7 מהתוצאות שהתקבלו בניסוי בו שתו הנהגים קפה וכן גבוהה פי 2.9 מתוצאות הניסוי אשר כלל תנומה קלה.

משקאות שהופיעו בשנים האחרונות ונמצאו כבעלי השפעה על הביצועים הקוגניטיביים הם משקאות ה"אנרגיה". המשקאות "האנרגטיים" זוכים לחשיפה פרסומית נרחבת ויוצרים אפשרויות חדשות לשמירה על ערנות. מלבד קפאין מכילים משקאות אלו חומרים



נוספים אשר נמצאו כמשפיעים על הערנות והיכולת הקוגניטיבית ביניהם טאורין, גלוקוז, ויטמינים מקבוצת ה-B וגלוקורנולאקטון (Ronen, 2003; Horne & Reyner, 2001).

טאורין הינה חומצה אמינית אשר גוף האדם אינו מייצר ומקבלת אותה אך ורק מתזונה. צריכתה היומית הממוצעת נעה בין 400-40 מיליגרם ביום, כאשר במשקאות אנרגיה ריכוזה גבוה יותר ויכול להגיע עד ל-4000 מיליגרם לליטר משיקה. אופן הפעולה המדויק של טאורין ודרך השפעתה על התנהגות אינם לגמרי ידועים, אך ידוע כי השפעתה המקסימאלית הינה לאחר כשעה עד שעתיים מהצריכה. לטאורין משויכת השפעה חיובית על ביצועים, יכולת השפעה על מצב הרוח ועל התנהגות תחת לחץ כמו כן בעלת השפעה חיובית במניעת יתר לחץ דם. (Baum & Weib, 2001; Seidl et al., 2000)

מרכיב נוסף אשר נמצא במשקאות אלו ומשמש להספקת אנרגיה הינו הגלוקוז. זו היא מולקולה בסיסית המשמשת מקור אנרגטי יחידי לתפקוד המוח, ספיגת הגלוקוז מתרחשת באופן מידי ומגיעה לריכוזה המקסימאלי בדם לאחר כחצי שעה מהצריכה. לאחר צריכת גלוקוז נמצא שיפור בזמן תגובה, בעיבוד מידע חזותי, במטלות זיכרון, בנהיגה בסימולטורים ובמטלות חשבוניות (Scholey et al., 2001).

קבוצת ויטמינים מסוג B וכן גלוקורנולאקטון מראים גם הם השפעה חיובית על ביצועים מנטאליים, ערנות במשך היום, ריכוז וכן השפעה על מצב הרוח (Mayer et al., 1996; Finnegan, 2003).

ההבדל העיקרי בין משקאות "האנרגיה" השונים הוא ריכוז הקפאין והטאורין המצויים בהם אם כי בחלקם ישם חומרים נוספים כגון גאורנה. מעבודות שנעשו על השפעת משיקה "האנרגיה", דווח כי לאחר השתייה נצפה שיפור בסיבולת האירובית והאנארובית תוך שיפור משמעותי בביצועים המנטליים: זמן תגובה, ריכוז וזיכרון (Alford et al., 2001). Reyner & Horne (2001) בחנו את ההשפעה של שתיית 500 מיליליטר משיקה "האנרגיה" על ביצועי הנהיגה בקרב נהגים הסובלים ממחסור בשינה. תוצאות המחקר הראו, כי קיים שיפור ביכולות הביצוע של הנהגים הבא לידי ביטוי בירידה ניכרת הן במספר הסטיות מנתיב הנסיעה והן בזמן תגובה למטלות. שתיית משקאות אנרגיה נמצאה גם כמשפרת את יכולות פיזיולוגיות-מוטוריות, כגון: ריכוז, זיכרון לטווח קצר, תחושת ערנות וחיוניות, ביצועים פיזיולוגיים ומצב רוח (Alford et al., 2001; Seidl et al., 2000).

דרכים נוספות להתמודדות עם עייפות שדווחו בסקרים רבים ונבחנו אמפירית הינן שימוש באמצעים ווקלים לצורך התמודדות עם עייפות בזמן נהיגה. דוגמאות לכך הינן האזנה למוזיקה ו/או הגברת עוצמת השמע, שיחה עם אדם אחר הנמצא ברכב או שיחה בטלפון הסלולארי. מחקרים אשר בחנו את השפעות האזנה לרדיו בהתמודדות עם עייפות הראו כי אכן האזנה לרדיו יעילה בעיכוב סימפטומים של עייפות אם כי, לטווח קצר בלבד (Reyner et al., 1998a). מנגד, ממחקר מאוחר יותר של Reyner & Horne



(1998) עולה, כי האזנה למוזיקה איננה תורמת לשמירת הדריכות בקרב נהגים עייפים. ההסבר לממצאים אלו טמון בכך שהאזנה למוזיקה גרמה להסחת דעתם של הנהגים מעייפות בה הם שרויים והובילה להתדרדרות נוספת של הנהיגה. מבחינת עניין ואתגר תוכניות ראיונות ברדיו או ערכות ללימוד שפה, נמצאו כמאתגרות מנטאלית ואף מעניינות יותר, ובכך נותנות תחושה של "שיחה אמיתית" ששומרת על ערנות הנהג (Maycock, 1995).

שיטה נוספת שהועלתה כבעל פוטנציאל לעיכוב עייפות בזמן נהיגה ממושכת היא עצירה בצד הדרך לצורך ביצוע מתיחה או פעילות גופנית. נמצא כי אנשים נוהגים להתנועע במהלך עבודתם על מנת להפחית את עייפותם ולהגביר את ערנותם (Bonnefond et al., 2003). במחקר קודם בתחום הראו כי לפעילות פיזית ברמות שונות יש השפעה חיובית על היכולת לשמור על ערנות במצבים שונים של מניעת שינה (Bonnet & Arand, 1999). שיטה זו נמצאה יעילה בקרב נהגים עייפים לשמירה על ערנות למשך 30 דקות, בביצוע התעמלות מאומצת בלבד. בביצוע התעמלות קלה או בינונית, חלק מהנהגים דיווחו כי הרגישו עייפות ב- 10 דקות הראשונות ולא נראה שיפור באיכות הנהיגה בתנאים אלו (Horne & Reyner, 1995).

Maycock (1995) מצאה כי חלק מהנהגים מעסיקים את עצמם במשחקים מנטאליים שונים, כמו ספירות פשוטות או משחקי חישוב, יצירת רשימות מילים לפי חוקים מסוימים, פתירת חידות, או למידת שפה חדשה באמצעות קלטות לימוד, כל זאת לצורך הפגת שעמום או עייפות. ואכן, התנהגות אינטואיטיבית זו אשר מדווחת על ידי הנהגים עולה בקנה אחד עם תיאורית המודלים הדינאמיים לקשב וביצוע מתמשכים. תיאוריה זו גורסת כי, אחת הדרכים להתמודדות עם עייפות המתפתחת במצבי תת-עומס בנהיגה הינה שילוב של מטלה משנית לנהיגה אשר תעמיס על הנהג ותוביל אותו למצב של עומס אופטימאלי (Young et al., 2002).

חיזוקים נוספים לטענה זו מתקבלים ממחקרים אמפיריים, אשר הראו כי לגירויים קוגניטיביים היכולת לעכב תסמיני עייפות ולמטלות קוגניטיביות משניות השפעה חיובית על ביצועי הנהג (Salvucci, 2000; De Valck et al., 2004). אולם בטרם מתבצעת בחירה של מטלה משנית לנהיגה יש להתחשב בגורמים ובסוג העייפות עימה מתמודד הנהג. מטלות ושיטות שונות להתמודדות עם עייפות יידרשו במידה ומקור העייפות הוא בחוסר שינה של הנהג או בעייפות כתוצאה מפעולת הנהיגה עצמה (Oron-Gilad & Hancock, 2005). לדוגמא, במצב של תת-עומס יש לבחור מטלה משנית אשר לא תגרום להסחת דעת הנהג מהמשימה העיקרית, אך יחד עם זאת, תדרוש תשומת לב מספקת אשר תשמר את הנהג ברמת ערנות גבוהה.

תוצאות סקר שבוצע בקרב נהגים מקצועיים, אשר בדק מהם דפוסי ההתנהגות של נהגים המתמודדים עם עייפות בנהיגה נמצא כי אחד מ- 15 הדפוסים העיקריים שנהגים



מבצעים לצורך שמירה על ערנות הינו ביצוע מטלה משנית פשוטה הכוללת פיצוח גרעיני חמנייה. הנהגים ציינו כי הם רואים בפיצוח הגרעינים אמצעי שמיש ויעיל לשמירה על ערנותם. (Oron-gilad & Shinar, 2001). בהתבסס על סקר זה בוצע מחקר במעבדה לארגונומיה אשר בחן את ההשפעה של ביצוע מטלה מוטורית פשוטה (פיצוח גרעינים) כמעכבת עייפות בנהיגה מתמשכת. תוצאות המחקר הראו כי פיצוח ואכילת גרעינים בזמן הנסיעה השפיעו באופן חיובי הן על התחושות הסובייקטיביות והן על מצבם הפיזיולוגי של הנהגים. השפעה חיובית זו באה לידי ביטוי בתחושת מוטיבציה ותחושת ערנות גבוהים יותר וכן ירידה ניכרת בשונות קצב הלב, המעידה על דריכות וערנות גבוהים יותר בהשוואה למצב הביקורת. המסקנות ממחקר זה מעידות כי ביצוע מטלה משנית פשוטה לאורך נהיגה ממושכת, הינה בהחלט אחת הדרכים היעילות לשימור ערנות נהג השרוי במצב של תת-עומס (Shinar et al., 2007).

Desmond & Matthews (1997) הראו במחקרם, כי כאשר העומס הנוצר ממטלת הנהיגה נמוך, הוספה של מטלה משנית קוגניטיבית המערבת את זיכרון העבודה מגדילה את מחויבות הנהג לביצוע המטלה הראשית שכן, הנהג חש כי יש צורך להשקיע בנהיגה מאמץ רב יותר. אלמנט נוסף החשוב בבחירת מטלה משנית למטלת הנהיגה הינו המוטיבציה של הנהג לביצוע המטלה. שכן, נמצא כי נהג עייף יכול להתמיד בביצוע המשימה באופן יחסי כל עוד יש לו מוטיבציה לכך (Gershon, et al., 2007).

מחקר, שנערך על ידי Zaidel ו Verwey (1999), אשר בחן את יעילות השימוש במטלה משנית המבוססת משחקים מאתגרים במניעת הרדמות, העלה כי למטלה הייתה השפעה חיובית על ביצועי הנהגים בתנאי נהיגה מונוטוניים. ביצוע המטלה היה בעל השפעה גדולה יותר על נהגים המועדים להרדמות, הקטין את מספר התאונות ואת מספר הסטיות מהנתיב בצורה משמעותית. נראה כי משחק מנטאלי מעניין הדורש תשומת לב מהנהג, עוזר לשמר ערנות ודריכות ובדרך עקיפה, משפר את הקצאת הקשב למטלת הנהיגה.

מחקר נוסף הנערך במעבדתנו, בחן והשוואה בין מספר מטלות משניות קוגניטיביות במטרה לבחון את יעילותן כמעכבות תסמיני עייפות הנובעים מנהיגה בתנאים של תת-עומס וכן מהי מידת העומס המנטאלי והפיזי שנוצר בעקבות ביצוע מטלות אלו (Oron-Gilad et al., 2007).

שלושת המטלות שנבחנו נבדלו ביניהן הן מבחינת התהליכים הקוגניטיביים שנדרשו לביצוען והן מבחינה מוטורית המאפיינת את אופן ביצוע המטלה. המטלות שנבחרו להשתתף במחקר זה כללו מטלה תפיסתית, מטלת המערבת זיכרון לטווח קצר, ומטלה המערבת את הזיכרון לטווח ארוך (שאלות טריוויה). כמו כן בוצעה השוואה של יעילות מטלות אלו לבין השפעתה של האזנה למוזיקה.



מניתוח תוצאות המחקר עולה כי לכלל המטלות השפעה חיובית בעיכוב עייפות וכי לא היו הבדלים משמעותיים במדדי הביצוע בין שלושת המטלות שנבדקו. אומנם, מטלת הטריוויה לא הראתה יתרון בולט על פני שאר המטלות מבחינת ביצועי הנהיגה, אך מבחינה סובייקטיבית הייתה המועדפת על פני השתיים האחרות בקרב 50% מהנהגים, לעומת 25% שהעדיפו את האחרות. כמו כן 60% מהנהגים בניסוי טענו כי ישמחו להתקין ולנסות מכשירים מסוג זה ברכבם הפרטי. בדומה למוצג בספרות, גם במחקר זה נמצא כי האזנה למוזיקה איננה משפרת את איכות הנהיגה (Oron-Gilad et al., 2007).

כדי לבחון יעילות שיטות שונות, ישנה חשיבות רבה להשתמש במגוון שיטות על מנת לאמוד את השפעת כל שיטה על תחושתו של הנבדק, איכות ביצועיו ומצבו הגופני בעת יישום השיטה הנבחרת. ישנן שיטות רבות למדידת עומס עבודה, כדוגמת העומס הנוצר במהלך נהיגה ממושכת ועלול להביא את הנהג למצב של עייפות. על כן, יש להשתמש במספר שיטות מדידה שונות במקביל, על מנת לקבל מידע כולל ומקיף בדבר מצבו של הנהג. ניתן לחלק את שיטות המדידה לשלוש קטגוריות: מדידות סובייקטיביות, מדידות איכות ביצוע הנהיגה ומדידות פיזיולוגיות (Ronen, 2003).

מדידות סובייקטיביות מתבססות על מדדים אשר בוחנים את הערכת הנבדק עצמו לגבי מצבו הפיזי והמנטאלי. מדידה סובייקטיבית מתבססת בעיקר על שאלונים אשר יתרונו הגדול הוא בכך שהם פשוטים ליישום וזוכים לשיתוף פעולה מצד הנבדקים (Sherry, 2000). מגבלות השימוש בשאלונים הינן: רגישות להעדפה אינדיווידואלית, תלויות בזיכרון של הנבדק וכן תוצאות הנתונות להשפעת דעות קדומות של הנבדקים (Hilburn, 2001 & Jorna).

אחד השאלונים המקובלים ביותר למדידת עייפות הינו SOFI (Ahsberg, 1997) (Swedish Occupational Fatigue Inventory). שאלון זה פותח תוך שימוש במידע על עייפות נתפסת בקרב קבוצות מקצוע שונות, במגוון גילאים ומשני המינים. תיקוף רגישותו של השאלון התבצעה ע"י השוואה ומציאת מתאם בין התוצאות שהתקבלו מהשאלון לתוצאות שהתקבלו משימוש במדדים פיזיולוגיים. היתרון לשימוש בשאלון זה טמון בעובדה כי השאלון הורכב במטרה לכלול את מירב הממדים הרלוונטיים לתחושת עייפות הנוצרת בעקבות ביצוע מטלה. ואכן, שאלון SOFI מורכב מחמישה מימדים הכוללים דיווח על תחושות של אי נוחות פיזית, תשישות פיזית, חוסר באנרגיה, חוסר במוטיבציה וישנוניות ובכך, מספק מידע הן על האספקטים הפיזיים והן על האספקטים המנטאליים של העייפות. יתרונות נוספים של שאלון SOFI הינם פשטותו, והתוקף הגבוה שלו (Ahsberg et al., 2000).

שאלון נוסף, מקובל גם כן, הוא NASA-TLX (Task Load Index). מטרת השאלון לאמוד את תחושת עומס העבודה של הנבדק כאשר מימדיו מתייחסים לדרישות



מנטאליות, פיזיות וביצועיות. בכל סעיף בשאלון ישנה התייחסות לשני מימדים, לדוגמה: מידת לחץ-הזמן והעומס הפיסי, וכך על הנבדק להעריך לאיזה מדד הוא הקצה יותר משאבים. השאלון זה הינו נפוץ מאוד ונתפס כבעל אמינות גבוהה (Hendy et al., 1993).

סוג נוסף של מדדים המשמשים להערכת מצבו של הנהג הינם מדדי איכות ביצוע הנהיגה. מחקרים רבים הראו כי לעייפות ישנה השפעה מזיקה על ביצועי נהיגה, וכי השפעה זו תלויה בין היתר, במשך זמן ביצוע המטלה (Stein, 1993). ישנם מספר רב של מדדים המשמשים לבחינת איכות הנהיגה ביניהם נכללים נתונים כגון, סטייה ממרכז הנתיב, השונות במידת הטיית ההגה, היכולת לשמור על מהירות קבועה, מספר תאונות ועוד. מדדי איכות ביצועי הנהיגה אשר נמצאו רגישים לנהיגה בהשפעת עייפות הינן, מיקום בנתיב, מהירות גלגל ההגה, השינוי במהירות, תאוצה אורכית ומספר תאונות (Wylie et al., 1996).

עייפות וערנות הנהג, תלויים ומשתנים בהתאם לרמת הגירוי של מערכת העצבים המרכזית, ולכן ניתן למדוד שינויים אלו גם בעזרת שימוש בכלים פיזיולוגיים (Wylie et al., 1996). מדדים פיזיולוגיים אלו מאפשרים להעריך את מידת הדחק הפיזיולוגי בו שרוי הנהג כתוצאה מהתמודדותו עם מטלות שונות, תחת השפעתם של גורמים סביבתיים וגורמים נוספים כגון: סמים ואלכוהול (Ronen, 2003). המדדים הפיזיולוגיים המוכרים בשימוש למדידת עייפות פיזית ומנטאלית הם קצב לב (HR - Heart Rate), שונות קצב לב (HRV - Heart Rate variability), הפעילות החשמלית בקליפת המוח (EEG - Electroencephalogram), תנועות עיניים (EOG - Electro-Oculogram), פעילות חשמלית של השריר (EMG - Electromyography) והתנגדות חשמלית של העור (GSR - Galvanic Skin Response) (Sherry, 2000).

שני מדדים שכיחים בשימושם למדידת רמת ערנותו של הינם הפעילות החשמלית בקליפת המוח (EEG) ושונות קצב הלב (HRV). ה- EEG הינו כלי למדידה של גלים חשמליים שמקורם בפעולת המוח. הקלטת גלי המוח מתבצעת ע"י הצמדת אלקטרודות לראשו של הנבדק (מס' האלקטרודות על פי הרזולוציה המבוקשת – מספר אזורי המוח הנבדקים), שרושמות שינויים חשמליים. כאשר האדם בשלבי שינה ראשונים, בהיותו נח ורגוע, אינו שרוי בריגוש ואינו עוסק בפעילות מנטאלית מאומצת (כגון פתרון בעיה) ישנה פעילות של גלי אלפא גבוהה. לעומת זאת, כאשר האדם נמצא במצב של דריכות, כשהקשב מופנה למתרחש בסביבה או בעת חשיבה פעילה קיימת הגברה של פעילות גלי בתא הכוללת גלים לא סדירים, נמוכי משרעת (Sherry, 2000). מחקרים שבחנו השפעה של נהיגה מונוטונית מתמשכת על מצבו הפיזיולוגי של הנהג הראו כי ככל שהנהיגה התמשכה היחס בין גלי אלפא לגלי בתא של הנבדקים עלה. כמו כן נמצא



קורלציה טוב בין תוצאות מדידת ה- EEG לבין התחושות הסובייקטיביות ומדדי הביצוע של הנבדקים בניסוי (Wylie et al., 1996)

בדיקה המשמשת למדידת קצב לב ושונות קצב הלב הינה ECG (elctrocardiogram). הבדיקה נותנת פלט של המתח החשמלי בלב ומאפשרת להעריך את הלחץ/מתח בהם האדם שרוי ואת השינויים בפעילויות מערכת העצבים האוטונומית (Ronen, 2003). שונות קצב הלב (HRV) מוגדרת כמרחק בזמן בין כל פעימה בלב בריא. ככל שהאדם רגוע יותר, עייף ופחות קשוב, כך תעלה שונות קצב הלב שלו. במצב ההפוך בו אדם ערני, דרוך, או חווה לחץ, שונות קצב הלב תרד (, Brookhuis and De Waard, 1993; Malik, 1996, Mulder, 1992).

מחקרים רבים עושים שימוש בשלושת סוגי מדדים אלו על מנת לאמוד את מצב הנהג במהלך נהיגה ממושכת. חלק נכבד ממחקרים אלו נעשה תוך שימוש במדמי נהיגה (סימולטורים) שכן לאמצעי זה יתרונות רבים במחקרים הקשורים לעייפות והרדמות. כפי שהוזכר, אחד הגורמים להאצת ההרדמות בנהיגה הינו נהיגה ממושכת בסביבה מונוטונית בה קצב האירועים נמוך. הסימולטור, המדמה הן את סביבת הנהיגה והן פעולות מוטוריות קוגניטיביות שונות המתרחשות במהלך הנהיגה, מאפשר בניית תסריטים בהתאם לצורכי המחקר. הסביבה המבוקרת בה נמצאים הסימולטורים, כאשר הנהג נעדר תחושת סכנה, אף מגדילה את האפשרות של הסימולטור ליצר תחושת שעמום והרדמות מהר יותר בהשוואה לנהיגה בתנאים אמיתיים כך שינתן לבחון את הגורמים והטיפוליים השונים העשויים להשפיע על רמות הערנות במהלך הנהיגה, כבר לאחר תקופה קצרה יחסית (Oron-Gilad et al.). למרות העובדה כי מדובר על מדמה נהיגה, הסימולטור בו נעשה שימוש במחקר הנוכחי עבר מבחן תקפות ממוקד לבדיקת תפישת המהירות בו נצפה קשר קבוע בין האופן בו נהגים תופשים את המהירות בסימולטור בהשוואה לנהיגה במכונית אמיתית בתנאים דומים (Shinar & Ronen, 2008)

במחקר הנוכחי נערכו סידרה של ניסויים שנחלקו לארבעה שלבי ניסוי שונים במטרה לבחון את היעילות של שיטות העשויות להיות יעילות לעיכוב תסמיני עייפות והעלאת רמת הערנות במהלך נהיגה ממושכת.



כלים ושיטות כלליות לכלל המחקרים והניסויים

מערכת קולית המודיעה על התחלה וסיום מטלה

מערכת קולית זו נכתבה בפלטפורמת .NET. בשפת C#. המערכת מפעילה קבצי קול (הודעות לתחילת/סיום ביצוע מטלה) שהוקלטו בפורמט WAVE, בנקודות זמן המוגדרות לה מראש. המערכת מקבלת כקלט 2 קבצי קול – אחד המודיע על תחילת ביצוע מטלה ושני המודיע על סיומה, ושתי נקודות זמן, בהן יופעלו הקבצים. מערכת זו הופעלה לאחר 60 דקות מתחילת הנסיעה ונועדה להודיע לנבדק להתחיל במטלת פיצוח הגרעינים לאחר 40 דקות הכוללת נהיגה בשילוב עם פיצוח גרעינים המערכת הודיעה לנבדק לסיים לפצח גרעינים.

איסוף וניתוח נתונים

בכל הניסויים נאספו נתונים לאורך המפגש, לצורך ניתוח תוצאות הניסוי. נתונים אלו נחלקו לשלושה מדדים: מדדים פיזיולוגיים, מדדי ביצוע ומדדים סובייקטיביים כפי שמפורט בפרק כלים ושיטות כלליות לכלל המחקרים והניסויים.

פרוטוקול הניסוי

מפגש הכרות

הנבדק הגיע למעבדת הסימולאטור בפעם הראשונה לצורך הכרות עם המערכת. התחלת מפגש ההכרות לא הוגבלה לזמן מסוים ולכן נבדקים שונים בצעו את פגישת ההכרות בזמנים שונים של היום. הנבדק עבר סיור קצר במעבדת הסימולאטור, ולאחר מכן נהג את תרחיש ההכרות במשך שעתיים, כאשר צוות הניסוי ליווה את נהיגתו בהסברים כיצד יש לתפעל את מערכת ה-ICT והסימולאטור. לאחר שעה מתחילת הנהיגה הופעלה מערכת ה-ICT.

נסיעת ביקורת

מפגש זה נועד לשמש כביקורת לניסוי, כבסיס להשוואת תוצאות נסיעות המבחן בהן נעשה שימוש באחת השיטות הנבחנות. הנבדק מבצע נסיעה של שעתיים ללא שום מטלה נוספת פרט לנהיגה. כמו כן, בניסוי זה שותף הנבדק משקה דמה שאינו מכיל את החומרים הפעילים כפי שקיימים במשקה האנרגיה אך טעם המשקה דומה לזה של משקה האנרגיה בהתאם לפרוטוקול המוצג בתרשים הבא:



מילוי שאלונים	מנוחה(10 דקות בתוך הרכב)	נהיגה (120 דקות)		מילוי שאלון SOFI	הגעה למעבדה + שתיית משקה דמה
		ביסוס Baseline (10 דקות)			

תרשים 23: מהלך הניסוי, מפגש ביקורת.

נסיעה הכוללת הפעלת מטלת ICT

בנסיעה זו מופעלת מערכת ה-ICT בזמן נהיגת התרחיש. המערכת הופעלה כשעה לאחר תחילת הנסיעה לפרק זמן של 40 דקות. לאחר סיום פעולתה, המשיך הנבדק את הנסיעה עד סופה כ- 20 דקות נוספות. בתום נסיעה זו מילא הנבדק שאלון משוב על המערכת. כמו כן, בניסוי זה שתי הנבדק משקה דמה שאינו מכיל את החומרים הפעילים כפי שקיימים במשקה האנרגיה.

מילוי שאלונים	מנוחה(10 דקות בתוך הרכב)	נהיגה (120 דקות)				מילוי שאלון SOFI	הגעה למעבדה + שתיית משקה דמה
		20 דקות	ביצוע מטלה משנית קוגניטיבית ICT (40 דקות)	50 דקות	ביסוס 10 (דקות)		

תרשים 24: מהלך הניסוי, מפגש הפעלת מערכת ICT.

נסיעה בה נצרך משקה אנרגיה

לפני תחילת הנהיגה שתי הנבדק 500ml של משקה אנרגיה. משקה זה נלקח משתי פחיות ומכיל בפחית אחת (250 ml נוזל): 28.25 gr גלוקוז, 80 mg קפאין, 1000 mg טאורין, גלוקורנולאקטון וויטמינים מקבוצת B (Horne & Reyner, 2001).

מילוי שאלונים	מנוחה(10 דקות בתוך הרכב)	נהיגה (120 דקות)		מילוי שאלון SOFI	הגעה למעבדה + שתיית משקה אנרגיה
		ביסוס Baseline (10 דקות)			

תרשים 25: מהלך הניסוי, מפגש הכולל שתיית משקה אנרגיה.

נסיעה בה נעשה שימוש בפיצוח גרעינים

בנסיעה זו נדרש הנבדק לפצח גרעינים בזמן נהיגת התסריט. הנבדק החל בפיצוח הגרעינים רק כאשר שמע את הודעת המערכת הקולית המבקשת להתחיל בביצוע במטלה זו. בדומה ללוח הזמנים של מטלת ה-ICT המערכת הקולית הופעלה לאחר



שעה של נהיגה, ולאחר פרק זמן של 40 דקות הופעלה המערכת שוב בכדי לבקש מהנבדק להפסיק את ביצוע המטלה. לאחר סיום המטלה, ממשיך הנבדק את הנהיגה עד סופה כ- 20 דקות נוספות. כמו כן, בניסוי זה שתה הנבדק משקה דמה שאינו מכיל את החומרים הפעילים כפי שקיימים במשקה האנרגיה.

הגעה למעבדה + שתיית משקה דמה	מילוי שאלון SOFI	מנוחה(10 דקות בתוך הרכב)	נהיגה (120 דקות)				מנוחה(10 דקות בתוך הרכב)	מילוי שאלונים
			ביסוס (10 דקות)	50 דקות	ביצוע מטלה משנית- פיצוח גרעינים (40 דקות)	20 דקות		

תרשים 26: מהלך הניסוי, מפגש הכולל מטלה מוטורית פשוטה.

הנחיות ומגבלות משותפות למפגשי הניסוי:

- על הנבדק לישון שנת לילה מלאה ערב הניסוי- 8 שעות, ולהימנע מצריכת אלכוהול.
- בבוקר הניסוי נתבקש הנבדק להימנע מצריכת מזון או משקאות המכילים קפאין.
- זמן התחלת הניסוי- 7:00 עד 9:00. ממחקרים קודמים שבוצעו במעבדה עולה כי ביצוע ניסוי של נהיגה ממושכת בנהיגה בשעות אלו של הבוקר בקר אוכלוסיית הסטודנטים יוצר עייפות מוגברת ההופכת שעות אלו למתאימות ביותר לבחינת אמצעי התמודדות עם העייפות במהלך נהיגה ממושכת
- הנבדק מלא שאלון ה- SOFI בנוגע לתחושותיו לפני תחילת הנהיגה.
- הנבדק שתה 500 מיליליטר משקה (אנרגיה/דמה).
- הנבדק חובר למערכת המדידה הפיזיולוגית נכנס לרכב למנוחה בת 10 דקות לפני תחילת הנסיעה, כאשר עיניו עצומות כדי לבסס מדד התחלתי ביחס למדדים הפיזיולוגיים שלו בזמן נהיגה.
- הנבדק התחיל בנהיגה לפי התסריט שנקבע ונדרש להקפיד על מהירות נסיעה של 90 קמ"ש.
- משך הנהיגה בכל ניסוי היה שעתיים בחלק זה במחקר המטלה מופעלת לתקופה הכפולה בזמן מזו שנבדקה בשלב הקודם כך שניתן לבחון השפעת הפעלה ממושכת של התוכנה. משך הניסוי מאפשר לבחון את התקופה לפני ואחרי הפעלת המטלה.
- לאחר סיום הנסיעה שוב נתבקש הנבדק לנוח כ- 10 דקות כשעיניו עצומות לפני יציאתו מהרכב.



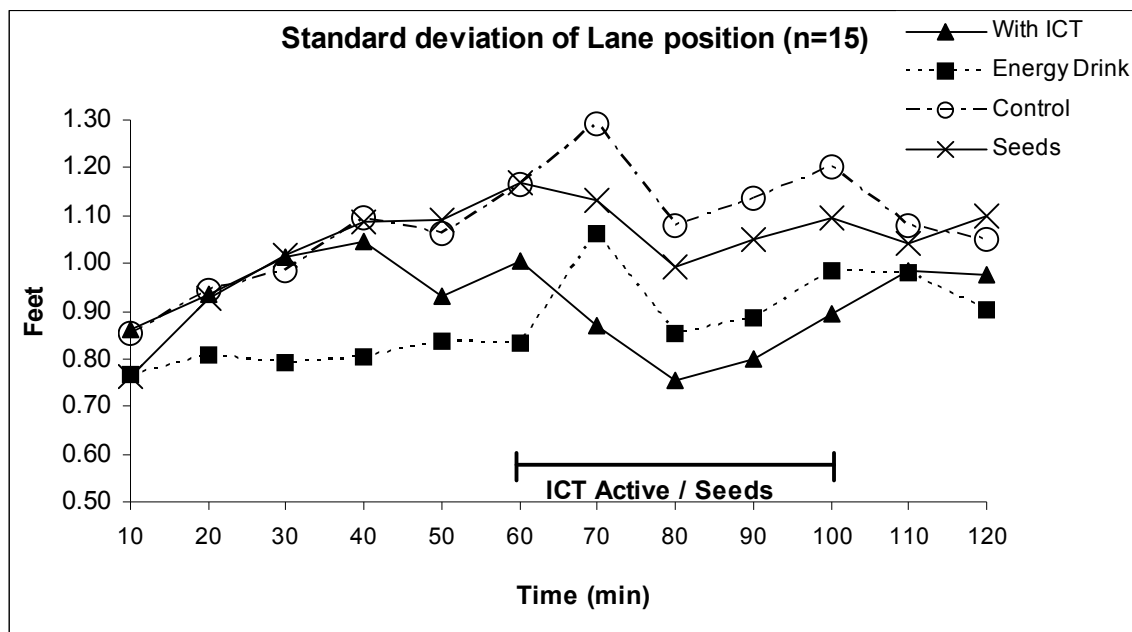
- הנבדק בסוף הניסוי מילא הנבדק שני שאלונים, שאלון SOFI ושאלון NASA-TLX. בניסוי שכלל הפעלת מערכת ICT נתבקש הנבדק למלא שאלון נוסף להערכת המערכת.

תוצאות

מדדי ביצוע

ממוצע שונות המיקום בנתיב

מבחן ANOVA דו-כיווני שבחן את השפעת הטיפול על שונות הסטייה ממרכז הנתיב הראה כי ישנה השפעה מובהקת של סוג הטיפול על היכולת לשמר נסיעה במרכז הנתיב $[F(3,468)= 1.5754, p=.00]$. ניתן לראות כי לאורך כל הניסוי בו ניתן משקה אנרגיה, מידת הסטיות מהנתיב נמוכה באופן משמעותי בהשוואה למצב הביקורת. כמו כן, ממבחן Post-Hoc עולה כי בניסוי בו הופעלה מטלת ICT יש ירידה מובהקת במידת הסטיות מהנתיב מיד עם הפעלת המטלה (לאחר 60 דקות נסיעה) ועד תומה בהשוואה למצב הביקורת ($p=.00$) כפי שמוצג בתרשים הבא.



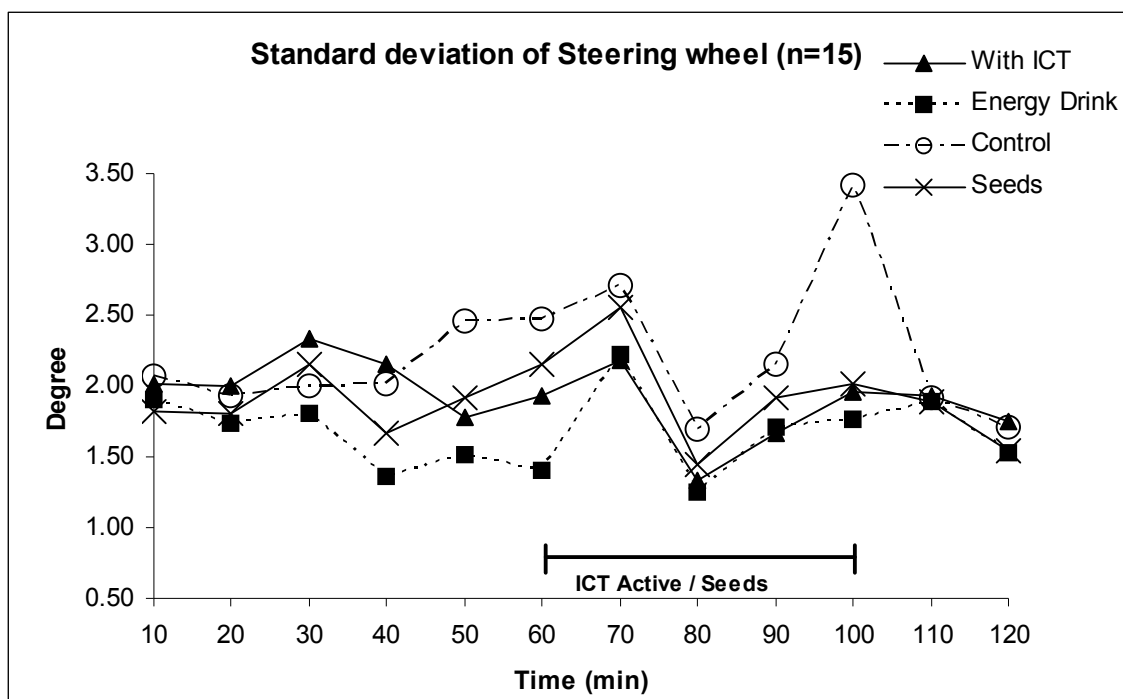
תרשים 27: תוצאות ממוצע שונות המיקום בנתיב (N=15)
*פירוט ממצאים סטטיסטיים עבור כל נקודת זמן וטיפולים ראה טבלה 5 בפרק נספחים.

ממוצע שונות הטיית ההגה

רגישות מדד זה לתופעת העייפות באה לידי ביטוי בכך שתדירות הטיות ההגה של נהג עייף נמוכה יותר בהשוואה לנהג ערני אך הטיות ההגה נעשות בעוצמה יותר גדולה (Thiffault, 2003). ניתוח תוצאות אלו הראה שקיים הבדל מובהק בשונות הטיית ההגה בין הטיפולים השונים $[F(3,468)= 10.0954, p=.00]$. ניתן לראות כי בניסוי בו שנו



הנבדקים משקה אנרגיה, שונות הטיית ההגה נשמרה נמוכה לאורך רוב חלקי הנהיגה בהשוואה למצב הביקורת. בניסוי בו נבחנה השפעת מטלת ICT ניתן לראות הבדל ובהק בין ניסוי זה למצב הביקורת בעת הפעלת המערכת ($p=.00$).



תרשים 28: תוצאות ממוצע שונות הטיית ההגה ($N=15$).

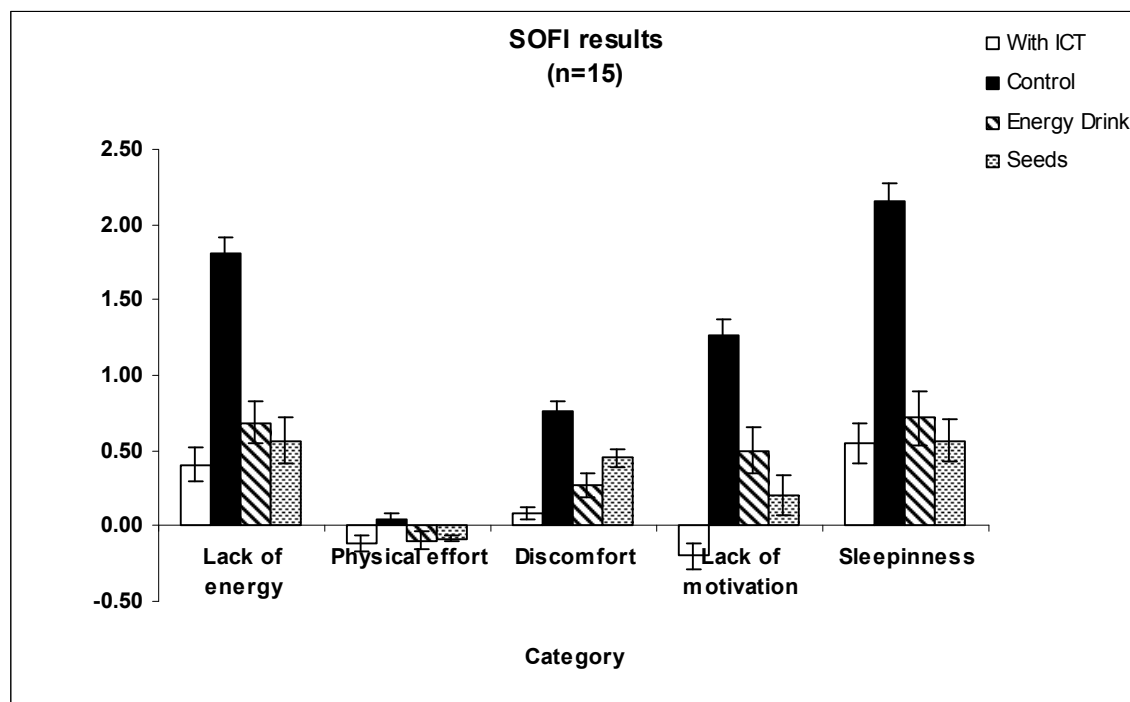
*פירוט ממצאים סטטיסטיים עבור כל נקודת זמן וטיפולים ראה טבלה 6 בפרק נספחים.

מדד סובייקטיבי - SOFI

מניתוח ANOVA חד-גורמי של השאלון עולה שלשלושת הטיפולים הייתה השפעה חיובית על ההרגשה הסובייקטיבית אותה חוו הנבדקים ביחס למצב הביקורת. תחושות מחסור באנרגיה, ותחושת חוסר מוטיבציה בניסוי שכלל הפעלה של מטלת ה-ICT היו נמוכות בהשוואה למצב הביקורת ($p=.016$; $p=.009$ בהתאמה) כמו כן, ניתן לראות כי תחושת חוסר המוטיבציה אף דורגה כשלילית, דבר המעיד כי הנבדקים הרגישו מוטיבציה להמשיך בנהיגה כתוצאה מביצוע מטלת ה-ICT. תחושת ישנוניות הייתה אף היא נמוכה באופן מובהק בניסויים בהם ניתן טיפול בהשוואה למצב הביקורת [$F(3, 56) = 2.83$, $p=.046$]. כלומר הנבדקים הרגישו ערניים הרבה יותר בניסויים בהם קיבלו טיפול. כאשר בוחנים את תחושת חוסר הנוחות בקרב הנבדקים במהלך הנהיגה



נצפה הבדל מובהק בין הניסוי שכלל הפעלת מטלת ICT לבין מצב הביקורת. משמע, הנבדקים חשו חוסר נוחות יחסית גבוה במהלך מצב הביקורת בהשוואה לניסוי שכלל את מטלת ICT ($p=.02$).



תרשים 29: תוצאות ממוצעים וטעויות תקן בשאלון סובייקטיבי SOFI (N=15).

מדד פיזיולוגי - HRV

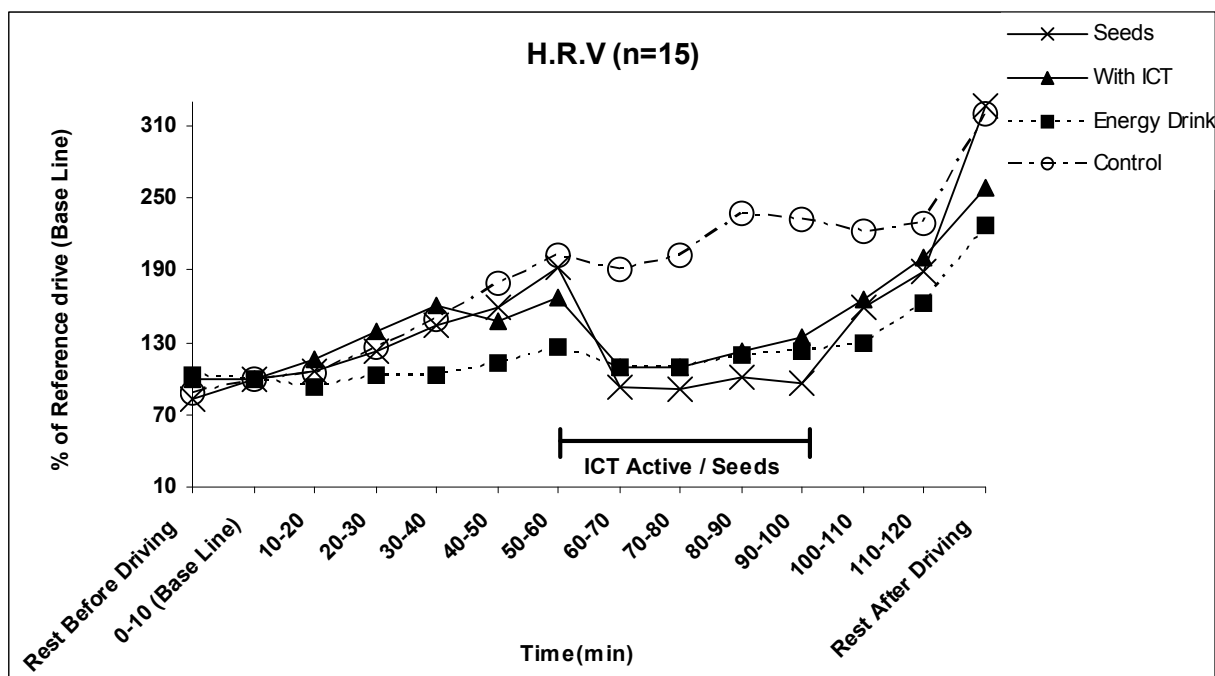
מניתוח תוצאות שונות קצב הלב אשר מהווה מדד רגיש לעומס המנטאלי בו שרוי הנהג וכן למידת הדריכות שלו, עולה תמונה משלימה לשאר התוצאות שנאספו בחלק זה. לצורך ניתוח התוצאות בחנו את אחוז השינוי של המדד ביחס לנתונים שהתקבלו מ-10 הדקות הראשונות של הנהיגה בהם הנבדקים, באופן יחסי, עדיין לא צברו עייפות. תוצאות מבחן ANOVA דו-כיווני הראו כי הייתה השפעה של הזמן במטלה על מידת עייפות הנהגים. לאורך הזמן במטלה שונות קצב הלב עלתה, עדות לכך כי הנבדקים צברו עייפות וכי הם סיימו את הנהיגה כאשר הם הרבה יותר עייפים מאשר בתחילתה $[F(3,387)=20.041, p=.000]$. בנוסף, מניתוח התוצאות עולה כי לשלושת הטיפולים

השפעה חיובית על מדד שונות קצב הלב ביחס לביקורת

$[F(3,387)=20.041, p=.000]$. שונות קצב הלב, הייתה נמוכה יותר לאחר שתיית משקה האנרגיה, דבר המעיד על דריכות פיזיולוגית גבוהה יותר באופן יחסי למצב הביקורת והיא שומרת על יציבות לאורך כל הניסוי. בניסויים בהם ביצעו הנבדקים את אחת מן המטלות המשניות (מטלות ICT או פיצוח הגרעינים), התקבלו תוצאות דומות למצב הביקורת בפרקי הזמן בהם לא בוצעו מטלות. ואילו החל מרגע התחלת ביצוע



המטלות, במהלכן ועד תום המטלות ניתן לראות שיפור מובהק ומשמעותי במדד שונות קצב הלב הבא לידי ביטוי בירידה חדה בשונות קצב הלב, המעידה על ערנות גבוהה יותר של הנבדקים בעת ביצוע המטלות המשניות [F(36,387)=1.45, p=.047].



תרשים 30: שונות קצב לב (N=15)
*פירוט ממצאים סטטיסטיים עבור כל נקודת זמן וטיפולים ראה טבלה 7 בפרק נספחים.

דיון

השלב הנוכחי במחקר בחן את השפעתם של שתיית משקה אנרגיה, פיצוח גרעינים וביצוע מטלה קוגניטיבית (ICT) על נהיגה מתמשכת בדרך מונוטונית המובילה למצב של תת-עומס. במחקר נצפתה השפעה חיובית, אם כי שונה, של הטיפולים על ביצועי הנהיגה, תחושה סובייקטיבית והמצב הפיזיולוגי של הנבדקים. מדד שונות קצב הלב הראה בצורה מובהקת כי הנבדקים צברו עייפות לאורך הנהיגה ובסיומה היו עייפים יותר בהשוואה לתחילת הנהיגה. בכדי לבחון את השפעת הטיפולים יצרנו הדמיה של דרך מונוטונית ללא תנועה ועם מינימום גירויים, אותה נהגו הנבדקים במשך שעות. ע"פ מחקרים קודמים, כמו גם שלבים קודמים במחקר הנוכחי העלו כי נהיגה ממושכת בדרך מהסוג הנ"ל תוביל למצב של תת-עומס (underload), המאופיין בירידה בפעילות מנטאלית, עייפות ומעבר לנהיגה אוטומטית הפוגעת ביכולת למקם את הרכב במרכז הנתבי. מצב זה מאפשר לבדוק האם גורמים שונים, כגון אלו בהם נעשה שימוש בחלק הנוכחי במחקר, עשויים לשפר את רמת הערנות ולבוא לידי ביטוי במדדי הביצוע. הוספת מטלות משניות במצב של תת-עומס נועד ליצור גירוי קוגניטיבי, לאזן את רמת העומס על הנהג ובכך לאפשר לנהג להסתגל למטלת הנהיגה ולעכב הופעת תסמיני עייפות במהלכה. מטלה משנית שהוספנו לנהיגה הייתה מערכת ה-ICT אשר התבססה בעיקר



על ערוץ מידע קולי, כאשר המענה לשאלות דרש פעולה מוטורית פשוטה של לחיצה על פאנל כפתורים שממוקם על הגה הרכב. בחירה בערוץ קשב קולי לא הייתה צפויה לפגוע בביצוע מטלת הנהיגה כפי שעולה ממאמרו של Wickens (1992), לפיו רצוי לשלב מטלה המבוססת על קשב ויזואלי עם מטלות המתבססות על ערוצי מידע אחרים. ניתוח התוצאות חיזק השערה זו וכפי שעלה מניתוח מדד שונות הסטייה מהנתיב, לביצוע מטלת ה-ICT יש השפעה חיובית מובהקת אשר באה לידי ביטוי בירידה בשונות הסטייה מהנתיב. פעולת הלחיצה על כפתור לא גרמה לירידה בביצועי הנהיגה, ככל הנראה בשל מיקומו של הלחצן על ההגה המאפשר להמשיך ולהתרכז בשמירה על מרכז הנתיב. המדד הסובייקטיבי הראה כי מטלת ICT מעניינת, ומאתגרת מנטאלית ונתנה לנבדקים מוטיבציה להמשיך לבצע את מטלת הנהיגה. תוצאות אלו עמדו בקורלציה עם המדד הפיזיולוגי בו גם כן נצפתה השפעה חיובית ביחס לביקורת. מבחן Post-Hoc הראה בצורה מובהקת שהשיפור הבא לידי ביטוי בכל המדדים הנ"ל מופיע מרגע הפעלת מטלת ICT. מטלה משנית נוספת הייתה פיצוח גרעינים, שילוב של מטלה זו במהלך הנהיגה הראה שיפור משמעותי במדד הפיזיולוגי, אשר בא לידי ביטוי בירידה בשונות קצב הלב כעבור שעה מתחילת הנהיגה, כלומר מרגע התחלת פעולת הפיצוח ועד סיומו. יתרון נוסף שבשילוב מטלת הפיצוח נראה גם בתוצאות המדד הסובייקטיבי המראה כי קיימת השפעה מובהקת של פיצוח גרעינים על תחושת ה"ישנוניות" של הנבדקים. הנבדקים חשו ערניים יותר במהלך פיצוח הגרעינים ודווחו כי חשו מוטיבציה גבוהה לבצע את מטלת הנהיגה. מניתוח תוצאות מדדי הביצוע השימוש בגרעינים במהלך הנהיגה במרבית המדדים, לא הראה כל השפעה וזאת ככל הנראה בשל התמורה המתקיימת בין ההתעסקות עם הגרעינים בעזרת הידיים לבי והיכולת לשמור על אחיזה טובה של ההגה.

תוצאות הטיפול שבדק את ההשפעה של שתיית משקה אנרגיה לפני נהיגה, תמכו בהשערותינו בנוגע להשפעה שבשתייתו בהתאם זמן שנבדק במחקר. משקה האנרגיה המכיל רכיבים פסיכואקטיביים: קפאין וטאורין, הידועים כבעלי השפעה מעוררת ומגבירי ערנות (Horne & Reyner, 2001) השפעתם באה לידי ביטוי כחצי שעה לאחר שתיית משקה האנרגיה ונמשכה לאורך הניסוי כולו. מבחינה של התוצאות ניתן לראות כי בשלושת המדדים שנבדקו משקה האנרגיה הראה השפעה חיובית מתמשכת לאורך הניסוי כולו, הנבדקים היו ערניים באופן יחסי וביצועי נהיגה שלהם היו הטובים ביותר תחת השפעת המשקה. כמו כן, דווחו הנבדקים על מידת עייפות כללית פחותה כל זאת בהשוואה למצב הביקורת.



מסקנות

ממצאי השלב הנוכחי במחקר הראו שגירוי קוגניטיבי מסוג שניתן בביצוע מטלת ה-ICT במצב של תת-עומס אינו פוגע בהקצאת משאבי קשב למטלת הנהיגה ויש בו את הפוטנציאל להעלות את רמת הערנות בנהיגה מתמשכת. ביצוע מטלה מוטורית פשוטה, הכוללת פיצוח גרעינים ואכילתם הובילה לעוררות הפיזיולוגית מובהקת דבר העולה בקנה אחד עם התוצאות הסובייקטיביות. שתייה חד פעמית של משקה אנרגיה בסמוך לזמן ביצוע הנהיגה מסייעת בטווח המידי לנהגים לעכב תהליכי עייפות במהלך נהיגה ממושכת בהתאם לזמן בו נערך הניסוי כפי שנראה בכל המדדים: סובייקטיביים, פיזיולוגיים ומדדי איכות נהיגה.

מבחינה מקיפה של השיטות השונות והתוצאות בכל המדדים שנמדדו כולל תחושתם הסובייקטיבית של הנבדקים, בחרנו לבחון את השפעת המטלה הקוגניטיבית (ICT) במהלך השלב האחרון בהשוואה לשילוב בינה לבין משקה האנרגיה. מבין השיטות אותן בדקנו הפעלת התוכנה במהלך הנהיגה זכתה לתגובות הסובייקטיביות החיוביות ביותר במהלך הנהיגה ויעילותה נראתה הן בהפעלה בשלבים שונים והן בהפעלה של 40 דקות ברציפות. באופן יחסי גם שתיית משקה האנרגיה בהתאם לתנאים בהם נצרך במהלך המחקר הציגו השפעה חיובית על כל סוגי המדדים ולכן ישנה חשיבות לבחון האם יעילות השילוב בין שתי שיטות הפועלות על מנגנונים שונים לחלוטין (אחת במשור הביוכימי ואחת במשור הקוגניטיבי) מביאים ליעילות גבוהה מאשר היעילות של מטלת ה-ICT בלבד.





שלב רביעי: בחינת יעילות השילוב בין שתי השיטות המובילות והשיטה שנמצאה יעילה ביותר

תקציר

מסקנות שלב קודם בדו"ח זה (שלב שלישי) העלו כי השיטה היעילה ביותר בשילוב תוצאות המדדים השונים מבין שלושת השיטות שהיתה המטלה המשנית הקוגניטיבית (ICT). תוצאות המדדים השונים הביעו על שתיית משקה אנרגיה כשיתה השנייה בהשפעותיה באופן יחסי למדדים השונים ולשאר הטיפולים שנבדקו. מטרת השלב הנוכחי הייתה, בחינה של השפעת שילוב שתי השיטות שנמצאו בשלב הקודם (פרק 3 בדו"ח זה) כמשפיעות ביותר בעיכוב תסמיני העייפות והשוואת השפעות שילוב זה להשפעות של השיטה שנמצאה כמשפיעה ביותר בעיכוב תסמיני העייפות והעלאת רמת הערנות היחסית. שלב המחקר הנוכחי כלל שני שלבים שלב ראשון, התאמתה של מטלת ICT לחלק זה במחקר..לצורך כך, הוספו נושאים ושאלות בכדי להגדיל מאגר השאלות הקיים כיוון שנדרש היה להפעיל את התוכנה בשני ניסויים שונים על ידי. על כן, נכתבו 96 שאלות נוספות בנושא תחבורה אשר עברו תהליך של תיקוף וקביעה של רמת קושי בקרב כ- 200 נשאלים (תהליך דומה לזה המתואר בחלק ראשון של דו"ח זה). השלב השני, הינו שלב הניסוי בו השתתפו 23 נבדקים ואשר כלל למעלה מ- 200 שעות סימולציה. כל נבדק השתתף בסדרה של ארבעה מפגשים ובכל מפגש ניתן לנבדק טיפול שונה. מפגשי הניסוי כללו את הטיפולים הבאים: שילוב שיטות אשר כלל שתיית משקה אנרגיה וביצוע מטלה משנית (ICT), ביצוע מטלה משנית קוגניטיבית (ICT) ומצב ביקורת.

תוצאות שלב זה במחקר הראו השפעה חיובית של מטלת ה- ICT על המדדים הפיזיולוגיים והסובייקטיביים ביחס לניסוי הביקורת. כמו כן מניתוח מדדי הביצוע ניתן לראות השפעה חיובית, נקודתית של מטלת ה-ICT ומיד עם תום הפעלתה חזרה איכות הנהיגה לאותה רמה כפי שנצפתה בניסוי הביקורת. בחינת תוצאות ניסויי שכלל שילוב של משקה האנרגיה עם ביצוע מטלת ה- ICT הראה השפעה חיובית מתמשכת על מדדי ביצוע הנהיגה ובמדדים הפיזיולוגיים. מהתוצאות עולה כי השפעת השילוב משמעותית יותר מהמטלה הקוגניטיבית בלבד ומצביע על היתרונות בשילוב שתי השיטות. ניתן להסיק כי ישנו יתרון ברור בשילוב שני טיפולים אלו, וכי הדרך הטובה ביותר, אשר נבחנה במסגרת ניסויים אלו, לעיכוב תסמיני עייפות בנהיגה ממושכת הינה שילוב השימוש במשקה אנרגיה ובמטלה מסוג ICT המספקת גירוי קוגניטיבי לנהג.



בחינת יעילות השילוב בין מטלה קוגניטיבית וצריכת משקה אנרגיה אל מול יעילות ביצוע מטלה קוגניטיבית בלבד כמעכבי עייפות במהלך נהיגה ממושכת

שיטה

בשלב הנוכחי כל נבדק התבקש להשתתף בארבעה מפגשים: מפגש הכרות, ניסוי ביקורת, ניסוי הכולל ביצוע של מטלה משנית קוגניטיבית (ICT), ניסוי שילוב, הכולל שתיית משקה + ביצוע מטלה משנית (ICT). כמו בשלבים הקודמים גם בשלב זה המרווח בין מפגש למפגש היה 3-7 ימים.

נבדקים

בחלק זה השתתפו 23 נבדקים כאשר 20 מתוכם השלימו את כל שלבי הניסוי (אחת הנבדקות לא נכללת בניתוח התוצאות הסופי בשל התנהגות לא אופיינית במהלך הנהיגה. בהתאם לכך הניתוח הסופי כולל 19 נבדקים) כלל הנבדקים הינם סטודנטים, נשים וגברים, בטווח גילאים של 20-35 שנים, בעלי ניסיון מינימאלי של 5 שנות נהיגה, משקל גוף תקין, לא מעשנים וצרכני קפה מתונים.

מטלה משנית קוגניטיבית (ICT)

מטלת ICT בה נעשה שימוש בשלב זה של המחקר דומה לגרסתה הקודמת (מתוארת בשיטה של השלב השלישי בדו"ח). ההבדל בין גרסאות המטלה הינו מספר הנושאים המוצעים ובהתאם גודל מאגר השאלות.

במערכת ICT הנוכחית, מאגר השאלות מחולק ל-6 נושאים שונים- אקטואליה, ספורט, סרטים, אוכל, רכב וידע כללי. כל נושא מחולק ל-3 דרגות קושי: קל, בינוני וקשה. מטלת ה- ICT מופעלת בשני מפגשי ניסוי שונים (בהתאם לפרוטוקול מחקר) ועל כן, בכל הפעלה הוצעו לנבדק שלושה נושאים שונים כאשר הנבדק יכול לבחור את נושא השאלות מתוך הרשימה המוצעת בהתאם להעדפה אישית. הממשק העיקרי זהה לזה בו נעשה שימוש בשלבים הקודמים של המחקר וכן אופן האינטראקציה בין התוכנה לנהג.

תסריטי נהיגה

לצורך הניסוי נבנו 4 תרחישי נהיגה, משך זמן סימולצית נהיגה היה 120 דקות. בדומה לשלבים הקודמים (שלב 2 ו 3) המטרה הייתה ליצור תנאים שיגבירו את מידת העייפות בקרב הנהגים ועל כן תוכנו תרחישי נסיעה ישרים ברובם ומונוטוניים. גם בחלק הנוכחי ההדמיה הייתה של כביש בין עירוני דו נתיבי, נפח תנועה קטן ומספר מצומצם מאוד של אירועים צפויים ובלתי צפויים שהתרחשו במהלך הנהיגה.



איסוף וניתוח נתונים

בדומה לשלבים הקודמים (2-3) גם במהלך ניסויים אלו נעשה שימוש בשלושה סוגי מדדים: מדדים פיזיולוגיים, מדדי ביצוע ומדדים סובייקטיביים. בכדי לבחון את השינויים הדינאמיים החלים תוך כדי נהיגה מחולקות דקות הנהיגה ל 12 מקטעים, כל מקטע בן 10 דקות.

מדידות פיזיולוגיות: הפעילות החשמלית של הלב (ECG) נדגמה בפוליגרף (כפי שמובא בסעיף השיטות הכלליות) בתדירות של 500_{Hz}. קצב הלב חושב וכן שונות קצב הלב הכללית חושבה על ידי חישוב סטיית התקן מהממוצע. כמו כן, הפעילות החשמלית של המוח (EEG) נדגמה בתדירות של 500_{Hz}.

מדדי ביצוע: מדדי הביצוע מתייחסים לשני תחומים: ביצועי הנהיגה וביצועי הנבדק במטלה המשנית.

מדדי איכות הנהיגה: ממוצע ושונות מהממוצע של מהירות הנסיעה (km/h), ממוצע ושונות מהממוצע של מיקום הרכב ביחס למרכז הנתיב (feet) ושונות מידת הטיית ההגה (degrees).

מדדים סובייקטיביים: במחקר זה נעשה שימוש ב-2 סוגי שאלונים, SOFI (Swedish Occupational Fatigue Inventory) ו-NASA TLX (Task Load Index).

כתיבה ותיקוף השאלות

לצורך התאמתה של מטלת ICT לחלק זה במחקר עלה הצורך להגדיל מאגר השאלות הקיימים. על כן, נכתבו 96 שאלות נוספות בנושא תחבורה אשר עברו תהליך של תיקוף וקביעה של רמת קושי (תהליך דומה לזה המתואר בשלב ראשון של דו"ח זה). השאלות חולקו לארבע שאלונים, כאשר בכל שאלון 24 שאלות ולכל שאלון שתי גרסאות הנבדלות בסדר השאלות בלבד. סה"כ 4 שאלונים ולכל שאלון גרסא א' ו-ב'. מכל גרסה חולקו כ-25 העתקים לנשאלים שונים. תהליך תיקוף השאלות אשר נועד לנפות שאלות שאינן מתאימות ולדרג את מידת הקושי שלהן, התבצע בקרב 200 נשאלים. כל נשאל מילא את אחת מתוך ארבעת גרסאות השאלונים.

ניתוח השאלונים כלל חלוקה לדרגות קושי המבוססת על אחוז התשובות הנכונות שהתקבלו מכל שאלה. נקבע כי מתחת ל-10% תשובות נכונות השאלות ינופו, בין 10%-50% הן יחשבו לקשות, בין 50%-90% הן יחשבו לבינוניות ומעל ל-90% הן יחשבו לשאלות קלות.

לאחר תיקוף השאלות התקבלו כ-96 שאלות המתאימות לשימוש, מהן 34 קלות, 40 בינוניות ו-22 קשות, מאגר השאלות החדש בנוסף למאגר שהיה קיים, אפשר לנו לבצע הפעלה של מטלת ICT למשך זמן של ארבעים דקות לכל הפעלה (בהתאם לפרוטוקול המחקר). השלב הסופי של התאמת המטלה לשלב מחקרי זה כלל הקלטה והזנה של



השאלות, התשובות וההערות למחשב המערכת באמצעות תוכנת Sound Recorder ובפורמט WAVE.

פרוטוקול הניסוי

מפגש הכרות

בדומה לשלבים הקודמים, הנבדק הגיע למעבדת הסימולאטור בפעם הראשונה לצורך הכרות עם המעבדה והמערכות שאותן יתפעל במהלך הניסויים.

ניסוי ביקורת

מפגש זה נועד לשמש כביקורת לניסוי, כבסיס להשוואת תוצאות נסיעות המבחן בהן נעשה שימוש באחת השיטות הנבחנות. הנבדק נהג ברכב למשך שעתיים ללא שום מטלה נוספת פרט לנהיגה. בתחילת מפגש מיד עם הגעתו של הנבדק למעבדה הוא התבקש לשתות משקה דמה (500ml). משקה זה הינו דומה בטעמו, צבעו וריחו למשקה האנרגיה אך ללא החומרים הממריצים.

הגעה למעבדה + שתיית משקה דמה	מילוי שאלון SOFI	מנוחה(10 דקות בתוך הרכב)	נהיגה (120 דקות)		מנוחה(10 דקות בתוך הרכב)	מילוי שאלונים
			ביסוס Baseline (10 דקות)			

תרשים 31: מהלך הניסוי, מפגש ביקורת.

ניסוי הכולל ביצוע מטלה משנית (ICT)

בנסיעה זו מופעלת מערכת ה- ICT בזמן נהיגת התרחיש. המערכת הופעלה כשעה לאחר תחילת הנסיעה לפרק זמן של 40 דקות. לאחר סיום פעולתה, המשיך הנבדק את הנסיעה עד סופה כ- 20 דקות נוספות. בתום נסיעה זו מילא הנבדק שאלון משוב על המערכת. גם בתחילת במפגש זה שתה הנבדק 500ml של משקה דמה הזהה בטעמו, צבעו וריחו למשקה האנרגיה.

הגעה למעבדה + שתיית משקה דמה	מילוי שאלון SOFI	מנוחה(10 דקות בתוך הרכב)	נהיגה (120 דקות)				מנוחה(10 דקות בתוך הרכב)	מילוי שאלונים
			ביסוס 10 (דקות)	50 דקות	ביצוע מטלה משנית ICT קוגניטיבית (40 דקות)	20 דקות		

תרשים 32: מהלך הניסוי, מפגש הפעלת מערכת ICT.

נסיעת שילוב בה נצרך משקה אנרגיה ומופעלת מערכת הICT

לפני תחילת הנהיגה במפגש זה, הנבדק שתה 500ml של משקה אנרגיה. לאחר כשעה של נהיגה הופעלה מערכת ה-ICT למשך 40 דקות.



הגעה למעבדה + שתיית משקה אנרגיה	מילוי שאלון SOFI	מנוחה 10 דקות בתוך הרכב	נהיגה (120 דקות)				מנוחה 10 דקות בתוך הרכב	מילוי שאלונים
			ביסוס 10 דקות	50 דקות	ביצוע מטלה משנית קוגניטיבית ICT (40 דקות)	20 דקות		

תרשים 33: מהלך הניסוי, מפגש הפעלת מערכת ICT ומשקה אנרגיה.

הנחיות ומגבלות משותפות למפגשי הניסוי:

- הנבדק נדרש לישון שנת לילה מלאה ערב הניסוי- 8 שעות, ולהימנע מצריכת אלכוהול.
- בבוקר הניסוי נדרש הנבדק להימנע מצריכת מזון או משקאות המכילים קפאין.
- זמן התחלת הניסוי היה 7:00 בבוקר.
- הנבדק מלא שאלון ה- SOFI בנוגע לתחושותיו לפני תחילת הנהיגה.
- הנבדק שתה 500 מיליליטר משקה (אנרגיה/דמה).
- הנבדק חובר למערכת ניטור פיזיולוגית ויתיישב בתוך הרכב לצורך מנוחה למשך 10 דקות לפני תחילת הנסיעה, כאשר עיניו עצומות.
- תחילת נהיגה תוך הקפדה על כללי הנהיגה שנדרשו בניסוי.
- לאחר סיום הנסיעה הנבדק שוב ביצע מנוחה של כ- 10 דקות כשעיניו עצומות לפני יציאתו מהרכב.
- בתום הניסוי הנבדק מלא שאלוני SOFI ו- NASA TLX בהתאם לתחושותיו לקראת סוף הניסוי.

תוצאות

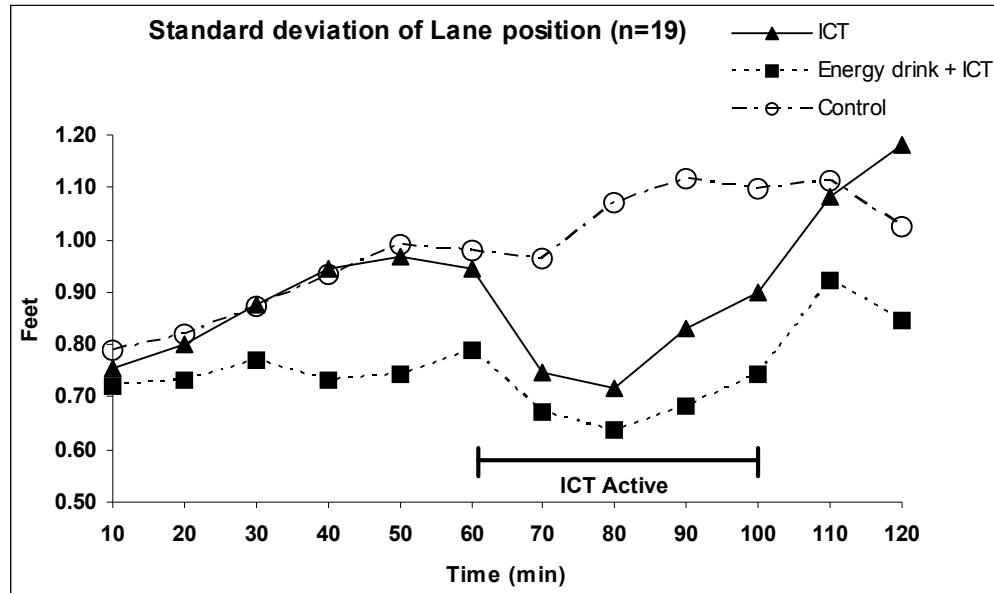
מדדי הביצוע

ממוצע שונות המיקום בנתיב

מבחן ANOVA דו-כיווני שבחן את השפעת הטיפול על שונות הסטייה ממרכז הנתיב הראה כי ישנה השפעה מובהקת של סוג הטיפול על היכולת לשמר נסיעה במרכז הנתיב $[F(2, 406)=58.39, p=.00]$. ניתן לראות כי לאורך כל ניסוי שילוב השיטות בו ניתן משקה אנרגיה בשילוב עם ביצוע מטלה משנית, מידת הסטיות מהנתיב נמוכה באופן משמעותי בהשוואה למצב הביקורת. כמו כן, ניתן לראות כי בעת ביצוע מטלת ICT (לאחר 60 דקות נסיעה) מידת הסטייה ממרכז הנתיב הינה נמוכה יותר גם בהשוואה לתחילת הניסוי (כאשר הנהגים עדיין ערניים). בניסוי בו בוצעה מטלת ה- ICT בלבד התקבלו תוצאות דומות למצב הביקורת בפרק הזמן שקדם לביצוע המטלות. אך החל מרגע התחלת ביצוע המטלה, במהלכה ועד תום המטלה ניתן לראות ירידה מובהקת במידת הסטיות מהנתיב. מביצוע השוואה בין יעילות ביצוע מטלת ה- ICT לבין שילוב



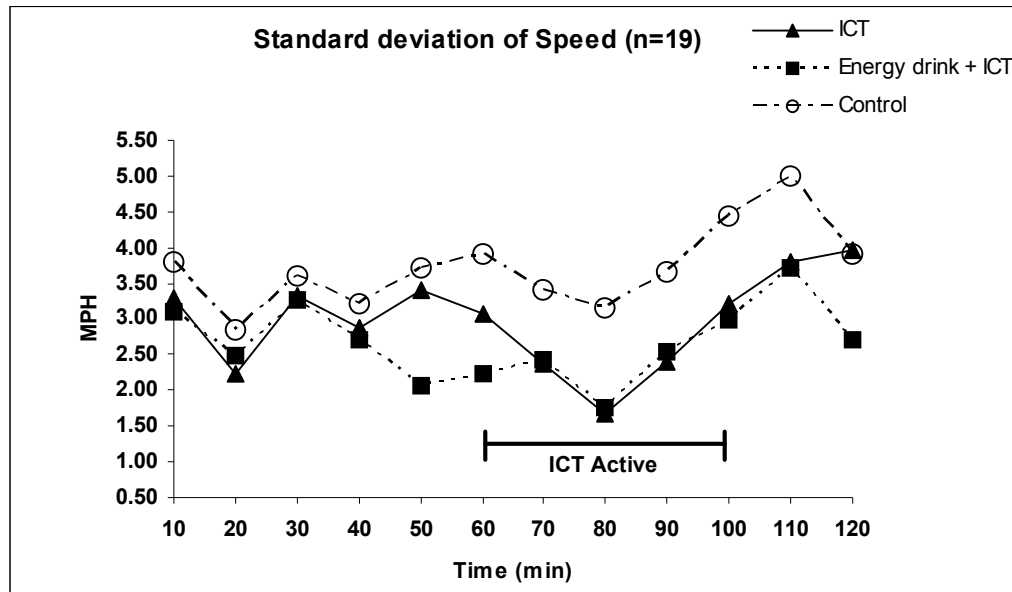
השיטות (ICT + משקה אנרגיה) עולה כי, במהלך פרקי זמן הנהיגה 80-90, 90-100 דקות לשילוב השיטות ישנה השפעה חזקה וטובה יותר מאשר ביצוע מטלת ה-ICT לבדה ($p=.001$; $p=.001$)



תרשים 34: שונות מיקום הרכב בנתיב כפונקציה של סוג טיפול (ICT, משקה אנרגיה ו ICT או ללא טיפול).
*פירוט ממצאים סטטיסטיים עבור כל נקודת זמן וטיפולים ראה טבלה 8 בפרק נספחים.

ממוצע שונות מהמהירות הנדרשת

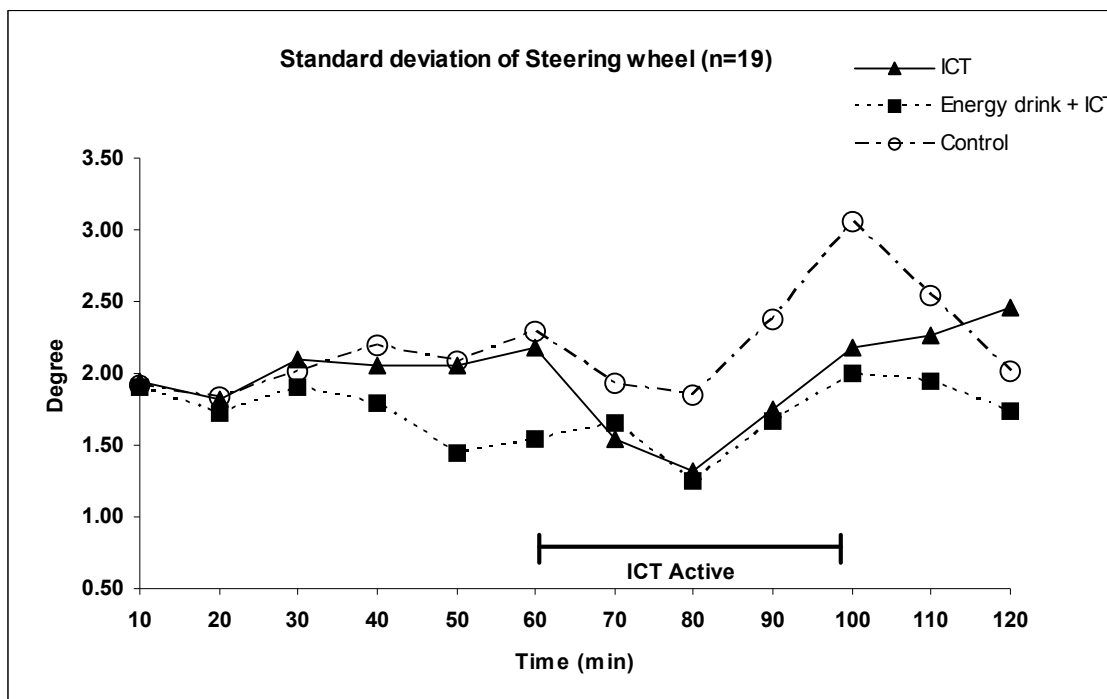
מבחן ANOVA דו-כיווני שבחן את השפעת הטיפולים על השונות מהמהירות הנהיגה שנדרשה בניסוי (90 קמ"ש) הראה שקיים הבדל מובהק בין הטיפולים השונים ובאינטראקציה בניהם. ניתן לראות כי מתחילת ההפעלה של מערכת ה-ICT ועד 10 דקות לפני תום הנהיגה (בפרק הזמן 60-110 דקות), השונות מהמהירות הנדרשת הייתה נמוכה יותר באופן משמעותי בהשוואה לאותו פרק זמן במצב הביקורת, $F(2, 406)=42.2$, $p=.00$. כמו כן, ניתן לראות כי בניסוי שכלל את שילוב הטיפולים (משקה אנרגיה וביצוע מטלת ICT) השונות מהמהירות הנדרשת הייתה נמוכה לאורך רוב חלקי הנהיגה (לאחר 30 דקות מתחילת הנהיגה) בהשוואה למצב הביקורת ($p<0.05$). שני הניסויים שכללו את הפעלת ה-ICT, בזמן ביצוע המטלה המשנית, השונות במהירות הייתה הנמוכה ביותר אם כי לא נמצא הבדל מובהק בין שני טיפולים אלו בעת הפעלת המערכת.



תרשים 35: שונות של מהירות הנסיעה הממוצעת כפונקציה של סוג טיפול (ICT, משקה אנרגיה ו ICT או ללא טיפול).
*פירוט ממצאים סטטיסטיים עבור כל נקודת זמן וטיפולים ראה טבלה 9 בפרק נספחים.

ממוצע שונות הטיית ההגה

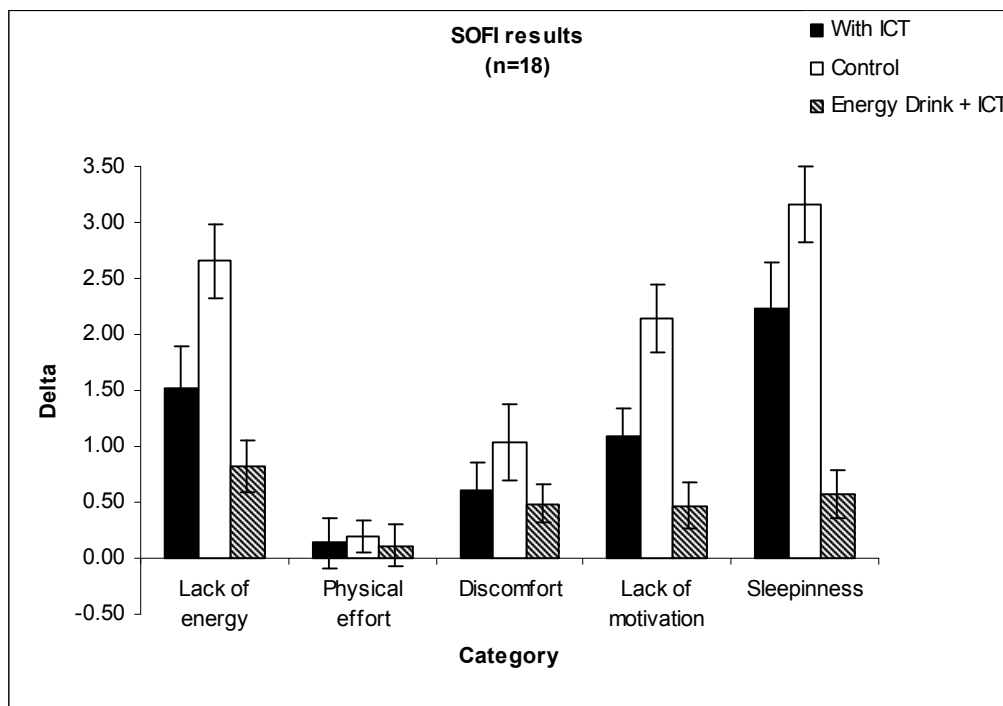
ניתוח תוצאות אלו הראה הבדל מובהק בשונות הטיית ההגה בין הטיפולים השונים [F(2, 406)=23.02, p=.00]. ניתן לראות כי בניסוי שכלל את שילוב הטיפולים (משקה אנרגיה וביצוע מטלת ICT) שונות הטיית ההגה נשמרה נמוכה לאורך רוב חלקי הנהיגה (לאחר 30 דקות מתחילת הנהיגה) בהשוואה למצב הביקורת ($p<0.05$). בניסוי בו נבחנה השפעת מטלת ICT ניתן לראות הבדל מובהק בין ניסוי זה למצב הביקורת בעת הפעלת המערכת בלבד ($p<0.05$). כמו כן, לא נמצא הבדל מובהק בין ניסוי השילוב (שתיית משקה אנרגיה וביצוע מטלת ICT) לבין הניסויים שכללו את הפעלת ICT בלבד.



תרשים 36: שונות הטיית ההגה כפונקציה של סוג טיפול (ICT, משקה אנרגיה ו ICT או ללא טיפול).
*פירוט ממצאים סטטיסטיים עבור כל נקודת זמן וטיפולים ראה טבלה 10 בפרק נספחים.

מדדים הסובייקטיביים שאלון SOFI

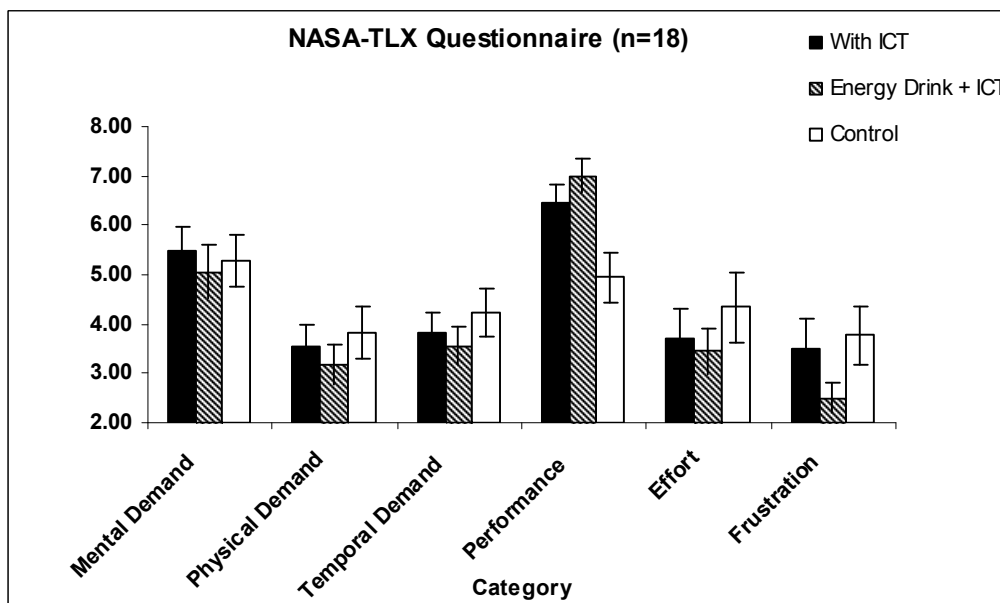
מניתוח ANOVA חד-גורמי של השאלון עולה כי לשני הטיפולים הייתה השפעה חיובית, אם כי שונה בעוצמתה, על ההרגשה הסובייקטיבית אותה חוו הנבדקים ביחס למצב הביקורת. תחושת העייפות הכללית, מחסור באנרגיה, ותחושת חוסר מוטיבציה בניסוי אשר שילב שתיית משקה אנרגיה עם הפעלה של מטלת ה- ICT היו נמוכים באופן ניכר ממצב הביקורת [$F(2,34)=15.42; 12.76, p=.0002; p=.000$ בהתאמה]. תוצאה מובהקת דומה, אם כי בעוצמה נמוכה יותר, התקבלה בניסוי בו בוצעה המטלה ICT בלבד, דבר המעיד כי ביצוע מטלה זו לבדה מפחית את תחושת העייפות ותחושת מחסור באנרגיה בקרב הנבדקים. כאשר בוחנים את תחושת חוסר הנוחות בקרב הנבדקים במהלך הנהיגה נצפה הבדל מובהק בין הניסוי שכלל טיפול משולב של שתיית משקה אנרגיה וביצוע מטלת ה- ICT לבין מצב הביקורת. משמע, הנבדקים חשו חוסר נוחות יחסית גבוה במהלך מצב הביקורת בהשוואה לניסוי זה ($p=.049$).



תרשים 37: תוצאות ממוצעים וטעויות תקן בשאלון סובייקטיבי SOFI (N=18).

שאלון NASA-TLX

מהתוצאות שאלון זה הבוחן את אלמנטים שונים בתחושת עומס עבודה ניתן לראות כי הנבדקים חשו תסכול ומאמץ רב יותר במהלך מצב הביקורת זאת בהשוואה לניסוי שכלל את שילוב השיטות ($p=0.028$, $p=0.000$ בהתאמה). כמו כן נראה כי הנבדקים הרגישו כי קצב הביצוע הנדרש במהלך הנהיגה של מצב הביקורת נמוך במידה ניכרת מקצב הביצוע הנדרש בשני הניסויים האחרים (ניסוי הכולל שילוב שיטות וכן ניסוי הכולל הפעלה של ICT בלבד) [$F(2,34)=10.08$, $p=0.000$].



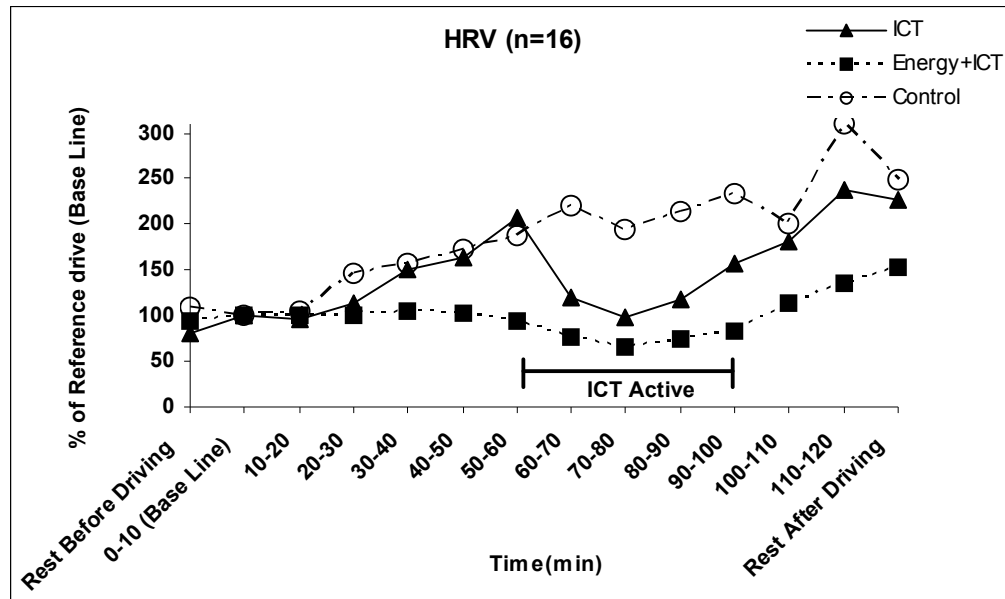
תרשים 38: תוצאות ממוצעים וטעויות תקן בשאלון סובייקטיבי NASA-TLX (N=18).



מדד פיזיולוגי – HRV

שונות קצב הלב מהווה מדד רגיש למידת דריכות הנהג ועומס המנטאלי בו שרוי. ככל ששונות קצב הלב גבוהה יותר הדחק הפיזיולוגי יורד, דבר המעיד כי הנבדק פחות דרוך ויותר עייף. לצורך ניתוח התוצאות בחנו את אחוז השינוי של המדד ביחס לנתונים שהתקבלו מ-10 הדקות הראשונות של הנהיגה בהם הנבדקים, באופן יחסי, עדיין לא צברו עייפות. תוצאות מבחן ANOVA דו-כיווני הראו כי הייתה השפעה של הזמן במטלה על מידת עייפות הנהגים. ניתן לראות כי במצב הביקורת עלתה שונות קצב הלב לאורך הזמן במטלה. משמע, הנבדקים צברו עייפות במהלך הנהיגה והם סיימו אותה כאשר הם בכ-150% יותר עייפים מאשר בתחילתה [$F(14, 206)=7.79, p=.000$].

בנוסף, מניתוח התוצאות עולה כי לשני הטיפולים השפעה חיובית על מדד שונות קצב הלב ביחס לביקורת [$F(2, 412)=45.93, p=.000$] ניתן לראות כי בניסוי בו בוצע שילוב הטיפולים (שתיית משקה אנרגיה בשילוב עם ביצוע מטלת ICT) שונות קצב הלב, הייתה הנמוכה ביותר וכמעט ללא שינוי לאורך הניסוי כולו. דבר המעיד כי הנבדקים שמרו על דריכות פיזיולוגית גבוהה הזדה בעוצמתה למצבם בתחילת הניסוי (לא צברו עייפות). תופעה נוספת הבאה אשר באה לידי ביטוי במדד זה וגם נצפתה בניסויים הקודמים (פרקים 2-3) הינה התגובה הפיזיולוגית המתקבלת מביצוע מטלת ICT בלבד. כפי שמתואר בגרף עד הנקודה בה מופעלת מטלת ICT (לאחר 60 דקות נהיגה) אין הבדל בין ניסוי זה למצב הביקורת, אך החל מרגע התחלת ביצוע המטלה ועד תומה ניתן לראות שיפור מובהק ומשמעותי במדד שונות קצב הלב הבא לידי ביטוי בירידה חדה בשונות קצב הלב, המעידה על ערנות גבוהה יותר של הנבדקים בעת ביצוע מטלה זו ($p<.05$). מביצוע השוואה של התוצאות שהתקבלו בניסוי ה-ICT לבין הניסויים שכללו את שילוב השיטות עולה כי ישנו הבדל מובהק בין שני הטיפולים בעשר דקות הראשונות וכן בעשר דקות האחרונות של פעולת מערכת ה-ICT (90-100; 60-70 דקות בהתאמה) ($p<.05$) נראה כי לשילוב הכולל שתיית משקה אנרגיה וביצוע מטלת ה-ICT יש השפעה חיובית רבה יותר על מידת ערנות בהשוואה לביצוע מטלת ה-ICT לבדה. כמו כן, עם תום ביצוע מטלת ה-ICT ניכר כי ההבדל בין הטיפולים נשמר וכי טיפול השילוב בעל השפעה חיובית מתמשכת, לעומת ניסוי ה-ICT אשר עם תום ביצוע, המטלה חוזר ונהיה דומה בערכיו למצב הביקורת.



תרשים 39: ממוצע שונות קצב הלב כפונקציה של סוג טיפול (ICT, משקה אנרגיה ו ICT או ללא טיפול).
*פירוט ממצאים סטטיסטיים עבור כל נקודת זמן וטיפולים ראה טבלה 11 בפרק נספחים.

דיון

מסקנות שלב קודם בדו"ח זה (שלב 3) היו שהשיטה בעלת ההשפעה הכוללת היחסית הגדולה ביותר בעיכוב תסמיני עייפות והעלאת רמת הערנות מבין שלושת השיטות שנבדקו הינה מטלה משנית קוגניטיבית (ICT). השיטה שנמצאה כשנייה בהשפעתה הייתה שתיית משקה אנרגיה. מטרת השלב הנוכחי הייתה לבחון את השפעת שילוב שתי השיטות לבצע השוואה של יעילות שילוב זה אל מול יעילותה של השיטה שנמצאה כמשפיעה ביותר לבדה (ביצוע מטלת ICT בלבד).

כמו בשלבים הקודמים, מדד שונות קצב הלב מעיד כי במהלך מצב הביקורת צברו הנבדקים עייפות לאורך הנהיגה ובסיומה היו עייפים יותר בהשוואה לתחילת הנהיגה. כמו כן, משאלון NASA-TLX עולה כי הנבדקים הרגישו שקצב הפעילות שנדרש במהלך הנהיגה במצב הביקורת היה נמוך וכי הם חשו תסכול ומאמץ רב לבצע את הנהיגה. נתונים אלו מעידים כי אכן יצרנו הדמיית נהיגה אשר הובילה את הנבדקים למצב עייפות הנגרם כתוצאה מתת-עומס. תוצאות הניסויים שכללו טיפול (ניסוי השילוב וניסוי מטלת ICT לבדה) מתיישבים בקנה אחד עם מודלים קוגניטיביים ומחקרים רבים אשר טוענים כי במצב של תת-עומס מטלה משנית לנהיגה אשר דורשת קשב ומאגרת מנטאלית יכולה להגדיל את רמת הערנות הכללית ולשפר את ביצועי הנהג (Verwey & Zaidel, 1989; Hancock & Warm, 1999).

מבחינה מדוקדקת של תוצאות הניסוי ניתן לראות כי שילוב השיטות הניב השפעה חיובית חזקה שבאה לידי ביטוי בביצועי הנהיגה, בתחושות הסובייקטיביות ובמצבם הפיזיולוגי של הנבדקים. מדד שונות הסטייה מהנתיב הראה כי לאורך כל ניסוי שילוב



השיטות (משקה אנרגיה בשילוב עם ביצוע מטלה משנית) מידת הסטיות מהנתיב הייתה נמוכה בהשוואה למצב הביקורת. כמו כן, בעת ביצוע מטלת ICT (לאחר 60 דקות נסיעה) מידת הסטייה ממרכז הנתיב הייתה נמוכה יותר מאשר בתחילת הניסוי כאשר הנבדקים היו עדיין ערניים. נתון זה בשילוב עם תוצאות שונות קצב הלב אשר הראו כי בניסוי שכלל שילוב הטיפולים, הנבדקים שמרו על דריכות פיזיולוגית הזזה בעוצמתה למצבם בתחילת הניסוי ולא צברו עייפות, מעיד על קיום השפעה משותפת של שילוב זה על מצבו של הנהג. ניתוח תוצאות שאלוני עייפות (SOFI), הראה כי תחושת העייפות הכללית, מחסור באנרגיה, ותחושת חוסר מוטיבציה בניסוי ששילב שתיית משקה אנרגיה עם הפעלה של מטלת ה-ICT היו נמוכים באופן ניכר משני הניסויים האחרים. מכאן ניתן להסיק כי הנבדקים חשו פחות עייפים ובעלי מוטיבציה גבוהה יותר להשלים את מטלת הנהיגה בהשוואה למצב הביקורת והמצב בו בוצעה מטלת ICT בלבד. חיזוק לתוצאות אלו מתקבל משאלון NASA-TLX בו דווחו הנבדקים כי חשו תסכול ומאמץ רב יותר לבצע את הנהיגה במצב הביקורת מאשר במצב שכלל את שילובן של השיטות. היתרון הגדול של שילוב השיטות בא בעיקר לפני ולאחר הפעלת ה-ICT כאשר בזמן ההפעלה ללא משקה האנרגיה ערנות הנהגים עולה אך חוזרת למצבה הקודם מיד בסיום ההפעלה בדומה למה שנצפה בשלבים הקודמים. כאשר משולב משקה האנרגיה עם המטלה, חלק גדול מהמדדים מצביע על שימור ערנות ועיכוב עייפות במהלך הנהיגה הממושכת אף במידה גדולה יותר מאשר במצב שבו תוכנת ה-ICT מופעלת לבדה.

יתרון נוסף של שילוב שני הטיפולים מתגלה מביצוע השוואה בין תוצאות שונות קצב הלב שהתקבלו בניסוי הקודם לניסוי הנוכחי. בניסוי שהתבצע בשלב קודם (שלב 3) נראה כי השפעת משקה האנרגיה מתחילה לחלוף לאחר כ-100 דקות מתחילת הנהיגה ולא נצפה הבדל משמעות במנוחה לאחר הנהיגה בין ניסוי האנרגיה למצב הביקורת. לעומת זאת בניסוי הנוכחי נראה כי השפעתו של המשקה קבועה לכל משך זמן מטלה הנהיגה ואף בשלב המנוחה שלאחריה. היות וההבדל היחידי בין הניסויים הוא סוג הטיפול (משקה אנרגיה אל מול שילוב של משקה אנרגיה עם ביצוע מטלה משנית) ניתן להסיק כי מטלת ה-ICT בשילוב משקה האנרגיה משפיע על מידת הערנות לזמן ממושך יותר מאשר השפעת המשקה לבדה.

מכל האמור עד כה, ניתן להניח כי השפעה השילוב מחזקת את השפעת כל אחת מהשיטות בנפרד וכי הדרך הטובה ביותר, אשר נבחנה במסגרת הניסויים במחקר הנוכחי לעיכוב תסמיני עייפות בנהיגה ממושכת והעלאת הערנות הינה שילוב השימוש בשתי שיטות מסוגים שונים, במקרה הנוכחי, השילוב בין משקה אנרגיה ומטלה מסוג ICT המספקת גירוי קוגניטיבי לנהג.



סיכום כללי

בישראל נהרגו ב 2007 448 אנשים. מנתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה עולה כי בין השנים 2004-2006, התרחשו בישראל למעלה מ- 17,000 תאונות דרכים עם נפגעים מידי שנה, ומעל ל 30,000 כלי רכב מעורבים בתאונות אלו, כאשר 66% מהם הינם רכבים פרטיים. (הלמ"ס, 2007)

למרות שבטבלאות השונות המבוססות על נתוני המשטרה גורם העייפות אינו מצוין באופן נפרד בדרך כלל, מסקרים שונים שנעשו בארץ וברחבי העולם עולה כי אחד הגורמים השכיחים יותר לתאונות דרכים אשר תוצאותיהן קטלניות הינו נהיגה במצבי עייפות ואף הרדמות במהלך הנהיגה.

מטרת המחקר הנוכחי הייתה לבחון באופן מעמיק את השפעתן ויעילותן של שיטות שונות לעיכוב תסמיני עייפות במהלך נהיגה מתמשכת. מחקר חלוצי זה התבסס על מערך היררכי של ניסויים שהשוו בין מספר שיטות לעיכוב תסמיני עייפות. שיטות אלו נבחרו בהסתמך על ידע מחקרי נרחב בתחום העייפות בנהיגה וכן בהתבסס על מחקרים וסקרים קודמים שבוצעו במעבדתנו על נהגים מקצועיים ולא מקצועיים. במחקר הנוכחי התבצעה השוואה בין ההשפעה והיעילות של שיטות השונות וזוהתה השיטה הבודדת בעלת ההשפעה הגדולה ביותר. לבסוף, בשלב האחרון אשר התבסס על שלושת השלבים הקודמים לו, נבחנה השפעת השילוב בין שתי שיטות המבוססות על השפעות פיזיולוגיות וקוגניטיביות בהשוואה לשימוש בשיטה בודדת. ניתן לציין כי המחקר חלוצי לא רק בכלים שפותחו במהלכו ובאופן היסודי בו נבחנה כל שיטה, אלא בעצם בחינת שילוב שיטות בעלות השפעות שונות.

כל שלבי המחקר התקיימו בסימולאטור נהיגה נייד, הממוקם במעבדת הארגונומיה באוניברסיטת בן-גוריון בנגב. אחד היתרונות הבולטים בשימוש בסימולאטור זה - המתקדם ביותר בישראל לצורכי מחקר - הינו היכולת לבחון שיטות שונות להתמודדות עם עייפות ע"י יצירת תנאים המזרזים מצבי עייפות וישנוניות תוך כדי נהיגה. ביצוע מניפולציות מסוג זה בתנאי שטח אמיתיים הינו קשה, ובעיקר כרוך בסיכון חיי אדם. בנוסף, כלי מחקרי זה אפשר לחוקרים שליטה מתודית על כלל משתני הניסוי והנהיגה. כך ניתן היה ליצור סביבת נהיגה מונטונית, המכילה מספר גירויים מצומצם ובאופן מהיר יחסית, ליצור עייפות אפילו בקרב נהגים אשר החלו את הנהיגה ערניים לחלוטין. יתרון נוסף למערך מחקרי זה, הינו היכולת לכמת באופן אמפירי את תוצאות המחקר, תוך שימוש בשיטות מדידה שונות: שיטות המודדות את איכות הנהיגה (סטיות מהנתיב, זמני תגובה למטלות משניות, מידת הטיית ההגה), שאלונים להערכת מצב הנהג לפני ואחרי הנהיגה וכן חיבור למכשור פיזיולוגי להערכת מידת העוררות והעומס המנטאלי בו נמצא הנהג במהלך כל שלבי הנהיגה. פרט לכך, בעזרת שימוש במצלמות המותקנות



במקומות שונים במכונית ניתן היה לעקוב באופן חזותי אחרי הנהגים. כלל שלבי המחקר כללו מאות שעות נהיגה.

במסגרת השלב הראשון של המחקר, ובהתבסס על סקירת ספרות נרחבת ומחקרים קודמים, התבצע תהליך תכנון, פיתוח ובחינה ראשונית של מטלה משנית קוגניטיבית אינטראקטיבית חדשנית (ICT- Interactive Cognitive Task). מטלה משנית זו, התבססה על משחק אשר מטרתו יצירת אינטראקציה עם הנהג במהלך נהיגה כדי לעקב עייפות. המערכת מספקת גירויים שמיעתיים ומצריכה תגובה מוטורית. המערכת משמיעה לנהג שאלות מרובות ברירה והנהג נדרש ללחוץ על כפתור על מנת להשיב עליהן. מערכת ה-ICT נבנתה תוך מחשבה מכוונת ליצור אצל הנהג תחושות של עניין ואתגר בביצוע המטלה, אך בד בבד לא דורשת מהנהג להסיט את מבטו ממסלול הנהיגה. לצורך כך נבנה ותוקף מאגר רחב של שאלות ותשובות העוסקות בחמישה תחומי עניין שונים. ליצירת מוטיבציה ומתן אתגר לשימוש בקרב הנבדקים, הוחלט שרמת הקושי של השאלות תעלה ככל שהנבדק יצליח במטלה. מניתוח בסיסי של תוצאות ניסוי הפיילוט הסתמנה השפעה חיובית של המערכת בכלל סוגי המדדים שנלקחו. הנבדקים דיווחו כי חשו עניין רב בשימוש במערכת זו וכן חשו מוטיבציה גבוהה להמשיך ולבצע את הנהיגה. במקביל נצפתה השפעה חיובית ורצויה על רמת עייפות הנבדקים שבאה לידי ביטוי בביצועי נהיגה טובים יותר בעת השימוש במערכת. שלב זה הראה כי בעת הפעלת המערכת לא רק שביצועי הנהיגה לא נפגעים אלא שהם אפילו משתפרים בצורה משמעותית בעקבות העוררות היחסית שהפעלת התוכנה יוצרת. בעקבות התוצאות ולאחר בחינה ראשונית של העקרונות שלפיהם נבנתה התוכנה הוחלט לבצע התאמות הן במטלת ה-ICT והן במתודולוגיה המחקרית. על כן, בוצע תיקוף מעמיק יותר של שאלות המערכת, בנייה של מערכת זו על פלטפורמה יציבה יותר, שינוי תזמון הפעלות מערכת ה-ICT כך שתופעל בעת עייפות מקסימאלית של הנבדקים וכן הערכת משך זמן מטלת הנהיגה.

כהמשך לשלב הפיילוט, בוצע ניסוי לבחינה מקיפה של השפעת הפעלת התוכנה של המטלה המשנית הקוגניטיבית (ICT) בעיכוב תסמיני עייפות והעלאת רמת העוררות בנהיגה מונוטונית ממושכת. תוצאות הניסוי הראו השפעה חיובית של מטלת ה-ICT בכל שלושת סוגי המדדים שנבחנו. תוצאות שלב זה הדגישו את הצורך ביצירתו של מאגר שאלות רחב ומגוון אשר יעניין ויצור מוטיבציה לשימוש במערכת בקרב הנבדקים. אכן, מבחינה סובייקטיבית הנבדקים דיווחו כי היה להם קל יותר להשלים את הנהיגה בניסוי בו המערכת הופעלה תוך תחושת מוטיבציה להצליח במשחק. תוצאות סובייקטיביות אלו עולות בקנה אחד עם מחקרים נוספים אשר טענו כי לנהגים עייפים ישנה יכולת לשפר ביצועים לאורך זמן אם מצליחים לעורר אצלם מוטיבציה וליצור מניע חזק מספיק (Desmond and Matthews, 1997).



מדדי איכות ביצוע הנהיגה והמדד הפיזיולוגי הראו כי למטלת ה-ICT יש השפעה חיונית ומיידית על רמת הערנות של הנבדקים. השפעה זו באה לידי ביטוי בירידה בשונות קצב הלב בשילוב עם שיפור במדדי איכות הנהיגה. באופן כללי השפעת מטלת ה-ICT הייתה מקומית בלבד, אשר נעלמה לחלוטין עם סיום המטלה. ניתן לראות כי מיד עם סיום ביצוע מטלת ה-ICT הייתה חזרה מהירה למצב הקודם הזהה ברמתו לרמת העיפות שנצפתה במצב הביקורת. השפעות אלו נצפו הן על ביצועי הנהיגה והן על מידת העוררות הפיזיולוגית. על כן, בהתייחסות כוללת לתוצאות שלב זה ניתן להסיק כי הפעלה של מטלה קוגניטיבית, המעוררת מוטיבציה ויוצרת אינטראקציה עם הנהג במהלך נהיגה יכולה לעורר באופן יחסית את הנהג ולהוביל לנהיגה בטוחה יותר לפחות למשך זמן המטלה. לשימוש בהפעלת המטלה כפי שנבחנה במחקר הנוכחי יש משנה תוקף כאשר בוחנים את התאמתן של תוצאות המחקר לתיאוריות העוסקות בתחום. ניתן לראות כי תוצאות המחקר תומכות במודלים השונים של תת-עומס, הטוענים כי עייפות בנהיגה יכולה להיווצר לא רק ממחסור במשאבים (לדוגמה כתוצאה ממחסור בשינה), אלא גם בתנאים הכוללים רמה נמוכה של גרייה בשילוב רמת מוטיבציה נמוכה אשר עלולים ליצור עייפות גם בקרב נהגים שאינם סובלים ממחסור במשאבי קשב (Desmond & Matthews, 1997; Matthews, 2002; Young & Stanton, 2002). במהלך השלב הראשון הופעלה מערכת ה-ICT פעמיים ל – 20 דקות בכל פעם. כללית, בכל הפעלה נצפתה השפעה חיונית נקודתית. לאור זאת הוחלט לבחון את השפעת התוכנה לתקופת זמן ממושכת יותר, דבר שבוצע בשלבים הבאים במחקר.

בשלב הבא השוונו בין ההשפעה והיעילות של ה-ICT לשיטות אחרות שמתוארות בספרות כיעילות בעיכוב תסמיני עייפות. שיטות אלו מתחלקות לשני סוגים: סוג אחד מקורו במניפולציה של עוררות הנהג באמצעות חומרים מעוררים (כמו אלו הנמצאים במשקאות אנרגיה). הסוג השני הוא ביצוע מטלה משנית פשוטה הנתפסת כיעילה בעיכוב עייפות בקרב נהגים מקצועיים ונמצאה בעלת השפעה חיונית במחקר קודם שבוצע במעבדה (פיצוח גרעינים).

לפיכך, השלב השלישי במחקר בחן והשווה את השפעתם של שתיית משקה אנרגיה, ביצוע מטלה משנית פשוטה (פיצוח גרעינים) וביצוע מטלה קוגניטיבית (ICT) על נהיגה מתמשכת בדרך מונוטונית המובילה למצב של תת-עומס.

התוצאות הראו שבשלושת המדדים שנבדקו, למשקה האנרגיה הייתה השפעה חיונית באופן יחסי המתמשכת לאורך הניסוי כולו. הנבדקים היו ערניים באופן יחסי וביצועי הנהיגה שלהם היו הטובים ביותר תחת השפעת המשקה. כמו כן דיווחו הנבדקים על מידת עייפות כללית פחותה בהשוואה למצב הביקורת. על אף, תוצאות חיוניות אלו יש להדגיש כי טווח הפעילות של משקה האנרגיה עשוי להיות מוגבל וכי להגיע להשפעתו המרבית דרוש זמן לספיגת החומרים הפעילים. למרות ההשפעה החיונית שיש למוצרים



המכילים קפאין על מידת הערנות של האדם, לקפאין עלולים להיות מספר השפעות שליליות אם כי רובם קשורים לצריכה בתדירות גבוהה ובמינונים גבוהים. כמו כן אנשים עלולים להסתגל מהר יחסית להשפעות המעוררות של קפאין. לכן, ניתן לשער כי קפאין ישפיע בצורה מיטבית בעיקר על אנשים שאינם מרבים בשתיית קפה (Bonnefond et al., 2003).

פיצוח הגרעינים במהלך הנהיגה הממושכת בוצע במקטעי זמן מוגדרים כדי לבדוק את השפעתם ויעילותם היחסית בזמן הפיצוח והאכילה ולהשוות זמן זה לזמן בו מופעלת התוכנה הקוגניטיבית בניסוי מקביל. פיצוח הגרעינים הראה שיפור בעוררות הפיזיולוגית בעת הפיצוח והנבדקים היו ערניים החל מרגע התחלת פעולת הפיצוח ועד סיומה. השפעה נוספת נצפתה על המדדים הסובייקטיבים, שהעידו על השפעה חיובית במובן של "ישנוניות" נמוכה יותר ומוטיבציה גבוהה יותר לבצע את מטלת הנהיגה. לעומת זאת לשימוש בגרעינים במהלך הנהיגה לא הייתה השפעה על מדדי הביצוע בהשוואה למצב הביקורת. זאת ככל הנראה בשל התמורה המתקיימת בין ההתעסקות עם הגרעינים בעזרת הידיים לבין היכולת לשמור על אחיזה יציבה של ההגה.

מטלת ה-ICT אשר הופעלה ברציפות במשך 40 דקות (משך זמן כפול מאשר בשלב השני) הראתה השפעה מובהקת בכל שלושת סוגי המדדים. הנבדקים דיווחו כי מטלת ICT יוצרת עניין, מאתגרת מנטאלית ומספקת מוטיבציה להמשיך ולבצע את מטלת הנהיגה. בנוסף, לאורך כל משך ביצוע מטלת ה-ICT הנבדקים הדגימו ביצועי נהיגה טובים יותר מאשר במצב הביקורת. תוצאות אלו תואמות את תוצאות המדד הפיזיולוגי בו גם כן נצפתה השפעה חיובית ביחס למצב הביקורת. חשוב לציין כי המטלה המשלבת השמעה קולית ותגובה מוטורית, לא גרעה מיכולת הנהגים להתמקד במטלה הראשית שהיא הנהיגה אלא אף העלתה את רמת העוררות היחסית ושיפרה את יכולת הנהיגה בשלבים בהם הופעלה. כל זאת בתנאי הניסוי שכללו דרך מונוטונית בעלת נפח תנועה נמוך עם מספר קטן של עיקולים מתונים.

לאור תוצאות אלו ניתן להסיק כי במטלות דוגמת מטלת ה-ICT, המביאה לתגובות חיוביות בקרב המשתמשים ומעלה את המוטיבציה שלהם להמשיך לנהוג, גלום פוטנציאל רב בהתייחס לשיטות שנבדקו. השיטה השנייה בהשפעתה הינה צריכת משקה אנרגיה אשר הראתה השפעה חיובית מתמשכת על המדדים השונים אך מבחינה סובייקטיבית נתפסה בקרב הנבדקים מועילה פחות מאשר מטלת ה-ICT. זהו דבר משמעותי שכן אנשים נוטים להשתמש באמצעים אותם הם מעריכים כמועילים. חלק זה במחקר הצביע על השפעה ממושכת יחסית שיש להפעלת התוכנה (40 דקות) בהשוואה לחלק הראשון בו הופעלה פעמיים ל – 20 דקות בלבד.

מאחר ושתי השיטות המובילות שייכות לדיסציפלינות שונות הפועלות על מנגנונים נפרדים, מטרת החלק האחרון במחקר הייתה לבחון את השפעת השילוב ביניהם על



מנת לראות עם לשילוב ערך נוסף על השיטה הבודדת המשפיעה ביותר בהתאם לאלו שנבחנו במחקר הנוכחי. המפגשים בניסוי זה כללו את הטיפולים הבאים: שילוב שיטות אשר כלל שתיית משקה אנרגיה וביצוע מטלה משנית (ICT), ביצוע מטלה משנית (ICT) בלבד ומצב ביקורת. תוצאות הניסוי הראו השפעה חיובית של מטלת ה-ICT על המדדים הפיזיולוגיים והסובייקטיביים ביחס למצב הביקורת בדומה לשלבים הקודמים במחקר. מניתוח מדדי הביצוע ניתן לראות השפעה חיובית נקודתית של מטלת ה-ICT והנעלמת עם תום הפעלת ה-ICT. השילוב של משקה האנרגיה עם ביצוע מטלת ה-ICT הראה השפעה חיובית מתמשכת על מדדי ביצוע הנהיגה ועל המדדים הפיזיולוגיים. השפעה זו הייתה גדולה יותר מהשפעת כל אחת מהשיטות בנפרד. לכן אנו מסיקים שהדרך הטובה ביותר – מתוך אלו שנבחנו במחקר זה – לעיכוב תסמיני עייפות בנהיגה ממושכת והעלאת הערנות הינה שילוב השימוש בשתי שיטות מסוגים שונים. במקרה הנוכחי, שילוב בין משקה אנרגיה ובמטלה מסוג ICT המספקת גירוי קוגניטיבי לנהג.

לסיכום: תוצאות השלבים השונים במחקר הנוכחי מצביעות על היכולת של שיטות שונות כגון מטלה משנית קוגניטיבית אטרקטיבית ושתיית משקה אנרגיה ובמיוחד השילוב ביניהן להעלות את ערנותם של הנהגים במהלך נהיגה ממושכת בתנאי דרך מונוטוניים לפרק זמן מסוים יחסית למצבים נטולי טיפולים אלו. אין ספק כי הדרך היעילה ביותר למנוע את הסכנות הכרוכות בעייפות והרדמות במהלך נהיגה הינה לא לנהוג כאשר חשים עייפים ואם בוחרים להמשיך לנהוג, לעצור בצד לתנומה קצרה מיד עם תחושת העייפות הראשונית. עם זאת, נהגים רבים ממשיכים לנהוג בכל זאת תוך שימוש בשיטות שונות על מנת לנסות ולשמר ערנות בהנחה שיצליחו להשלים את הנהיגה עד הגיעם ליעדם. בהתאם לכך, ישנה חשיבות לבחינת השיטות השונות כדי להבין את מגבלותיהן ואת יעילותן ולבחון כיצד ובאילו תנאים ניתן להשתמש בהם במהלך נהיגה ממושכת כפי שבוצע במחקר הנוכחי.



המלצות למחקרי המשך

לאור תוצאות מחקר זה יש להמשיך ולחקור את הנושא במטרה להבהיר את היתרונות והחסרונות הגלומות בשיטות שונות בהן נהגים משתמשים במהלך נהיגה ממושכת לשמירה על ערנות ולבחון כיצד ניתן להטמיע שיטות הנמצאות כיעילות.

בהתאם לכך מוצעות מספר אפשרויות להמשך חקירה ופיתוח של הנושא:

1. הפעלת מטלה משנית קוגניטיבית (ICT) ע"י הנהג בהתאם לרצונו

ותחושותיו- להבדיל מהמחקר הנוכחי בו המערכת הופעלה בזמנים קבועים בהתאם לפרוטוקול הניסוי, יש לבחון מצב בו הנהג יכול לתזמן את הפעלת המערכת בהתאם לתחושותיו. במקביל מדדים פיזיולוגיים יעידו אם אכן הנהג מעריך נכון את מצבו ומנצל בצורה יעילה את יתרונות המערכת.

2. בחינה של מטלה משנית המופעלת ע"י כלים קוליים בלבד-

האינטראקציה עם המערכת במחקר זה התבססה על תגובה מוטורית מצד הנהג לגירויים שמיעתיים מצד המערכת. יש לבחון האם מערכת דומה לזו בה נעשה שימוש במחקר הנוכחי, יעילה באותה מידה כאשר היא מופעלת קולית בלבד או שהוספת התנועה ולחיצה על הכפתור הינה בעלת משמעות בתהליך העלאת הערנות היחסית.

3. בחינה של הפעלה חוזרת וממושכת של המערכת- בכל שלב מחקרי

השתתפו נבדקים שלא השתתפו בשלב קודם, על כן, למעשה לא נבדקה האפשרות שרמת העניין והמוטיבציה שהמטלה הקוגניטיבית יוצרת, דועכת לאחר שימוש ממושך וחוזר, כלומר, השאלה הינה האם נהגים מפתחים סבילות למטלה קוגניטיבית לאחר שימוש ממושך (מעבר לפעמיים).

4. בחינה של השפעת שילוב השיטות (שתיית משיקה אנרגיה ותפעול

מטלת ה-ICT) בתנאי עומס יתר (מניעת שינה, דרכים מסובכות)- במחקר הנוכחי נבחנה השפעת שילוב הטיפולים על נהיגה בתנאים סביבתיים המעודדים מצב של תת-עומס. נשאלת השאלה האם יתרונם יבוא לכדי ביטוי גם בעת נהיגה בתנאי עומס סביבתיים או פיזיולוגיים, מאחר והשילוב פועל בשני מישורים שונים הן המנטאלי והן הפיזיולוגי.

5. בחינת המערכת על אוכלוסיות נהגים נוספות ובתנאי שטח אמיתיים- יש

לבחון את השפעת הטיפולים השונים בקרב אוכלוסיות נוספות כגון אוכלוסיה מבוגרת, נהגים לא מנוסים וכן נהגים מקצועיים. פרט



לניסויים בסימולאטור נהיגה יש לבצע מחקר מבוקר הבוחן שיטות אלו
בתנאי נהיגה אמיתיים (בשטח) במידת האפשר.



רשימת מקורות

Åhsberg, E., Gamberale, F., Kjellberg, A. (1997). *Perceived quality of fatigue during different occupational tasks*. Development of questionnaire. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20, 121-135.

Åhsberg, E., Gamberale, F., Gustafsson, K. (2000). Perceived fatigue after mental work: an experimental evaluation of fatigue inventory. *Ergonomics*, 43, 252-268.

Alford, C., Cox, H., Wescott, R. (2001). The effects of red bull energy drink on human performance and mood. *Amino Acids*, 21, 139-150.

Baum, M., Weib, M. (2001). The influence of a taurine containing drink on cardiac parameters before and after exercise measured by echocardiography. *Amino Acid*, 20: 75-82.

Broughton, J., Baughan, C., Pearce, L., Smith, L., & Buckle, G. (2003). *Work-related road accidents*. TRL Report No. 582. Crowthorne, United Kingdom: TRL Limited.

Bonnefond, A., Patricia, T., Joceline, R., Muzet, A. (2003). A Critical Review of Techniques Aiming at Enhancing and Sustaining Workers's Alertness during the night shift. *Ind Health* 42, 1-14.

Bonnet, M. H. and Arand, D. L. Level of arousal and the ability to maintain wakefulness. *J. Sleep Res.*, 1999, 8: 247-254.

Brookhuis, K.A., De Waard, D. (1993). The use of psychophysiology to assess driver status. *Ergonomics*, 36, 1099-1110.



De Waard, D., Brookhuis, K.A. (1991). Assessing driver status: a demonstration experiment on the road. *Accident Analysis and Prevention*, 23, 297-307.

De Valck, E., Cluydts, R., and Pirrera, S. (2004). Effect of cognitive arousal on sleep latency, somatic and cortical arousal following partial sleep deprivation. Department of Cognitive and Physiological Psychology, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgium

Desmond, P.A., and Matthews, G. (1997). Implications of task induced fatigue effects for in-vehicle countermeasures to driver fatigue. *Accidents Analysis and Prevention*, 29, 513-523.

Donoho, R. (1996). Gearing up for driver safety. *Sales and marketing management*, 148(12), 66-67.

Elling, M., Sherman, P. (1995). Drowsy driver detection using steering wheel motion: A markov chain motion. *TRB 74th Annual Meeting*, Jan.22-28, Washington, D.C.

Finnegan, D. (2003). The health effects of stimulant drinks. *British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin*, 28, 147-155.

Fruhstrofer, H., Langanke, P., Meinzer, K., Peter, J.H., Pfaff, U. (1977). Neurological vigilance indicator and operational analysis of train vigilance monitoring device: A laboratory and filed study. In: Mackie, R.R. (Ed.) *Vigilance. Theory, operational performance, and physiological correlates*. Plenum Press, New York, 87-109.

Gershon, P., Ronen, A., Oron-Gilad, T., Shinar, D. (In process): The Effects of an Interactive Cognitive Task (ICT) in Delaying Fatigue Symptoms in Driving. *Transportation Research*, F



Hancock, P.A., & Warm, J. S. (1989). A dynamic model of stress and sustained attention. *Human Factors*, 31, 519-537.

Hendy, K. C., Hamilton, K. M., and Landry, L. N. (1993). Measuring subjective workload: When is a one scale better than many?, *Human Factors*, 35, 579 - 601.

Hilburn, B., & Jorna, P.G.A.M. (2001). Workload and air traffic control. In P.A. Hancock, & P.A. Desmond (Eds.), *Stress, workload, and fatigue*. Mahwah, NJ: L. Erlbaum.

Horne, J.A., Reyner, L.A. (2001). Beneficial effects an "enrgy drink" given to sleepy drivers. *Amino Acids*, 20, 83-89.

Horne, J., Reyner, L. (1999). Vehicle accidents related to sleep: a review. *Occupational & Environmental Medicine* 56: 289-94.

Horne, J., and Reyner, L. (1998): Evaluation of 'in car' countermeasures to sleepiness: cold air and radio. *Sleep*, 21(1) 46-50.

Horne, J. A., and Reyner, L. A. (1995). Sleep related vehicle accidents. *British Medical Journal*, 310, 565– 567.

Kelly, M.J., Stanley, L.M., Lassacher, S. (2005). Driver performance while using acellular telephone interface to a traveler information system. Report prepared by Western Transportation Institute, Montana State University, for the Research and Innovative Technology Administration, USDOT, July 25.

Khardi, S., Vallet, M.(1994). Drowsiness of the driver : E.E.G and vehicle parameters interaction. 14th International technical conference on the enhanced safety of vehicles (*ESV conference*). Bron Cedex , France.



Lal, S.K.L., Craig, A., (2002). Driver fatigue: electroencephalography and psychological assessment. *Psychophysiology* 39, 313–321.

Malik, M. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation*, 93, 1043-1065.

Matthews, G. (2002). Towards a transactional ergonomics for driver stress and fatigue. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3, 2, 195-211.

Matthews, G. & Desmond, P. A. (2002) Task-induced fatigue states and simulated driving performance. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 55, 659-686.

Matthews, R., Legg, S., & Charlton, S. (2003). The effect of cell phone type on drivers subjective workload during concurrent driving and conversing. *Accident Analysis and Prevention*, 35(4), 451-457.

Maycock, G. (1995). Sleepiness and driving: the experience of UK car drivers. *J Sleep Res* 5, 229-37.

Mayer, G., Kroger, M., Meier, E.K. (1996). Effects of vitamin B12 on performance and circadian rhythm in normal subjects. *Neuropsychopharmacol* 15/5: 456–464.

McCartt, A. T., Rohrbaugh, J. W., Hammer, M. C. and Fuller, S. Z. (2000). Factors associated with falling asleep at the wheel among long-distance truck drivers, *Accident Analysis and Prevention*, 32, 4, 493 – 504.

Mulder, L.J.M., 1992, Measurement and analysis methods of heart rate and respiration for use in applied environments, *Biological Psychology*, 34, 205 - 236.



Nehlig, A. (1999). Are we dependent upon coffee and caffeine? A review on human and animal data. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. Vol. 23, no. 4, pp. 563-576.

Nabi, H., Guéguen, A., Lafont, S., Zins, M., Lagarde, E. (2006). Awareness of driving while sleepy and road traffic accidents: prospective study in GAZEL cohort. *BMJ* 2006; 333:75.

Nordbakke, S., Sagberg, F.(2007). Sleepy at the wheel: Knowledge, symptoms and behavior among car drivers. *Transportation Research, F*, 10, 1-10.

Oron-Gilad, T., and Hancock, P. (2005). Road environment and driver fatigue, *Transportation Research, F* 3: 195-209.

Oron-Gilad, T., Ronen, A., Cassuto, Y., and Shinar, D. (2007): Alertness Maintaining Tasks While Driving, *Accident Analysis and Prevention* (In press)

Oron-Gilad, T., and Shinar, D. (2001). Management of fatigue of military professional truck drivers. *Transportation Research F* (Traffic Psychology and Behavior), 3F, 195-210.

Oron-Gilad, T., and Ronen, A. (2007). Road Characteristics and Driver Fatigue: a Simulator Study. *Traffic Injury Prevention*, 8, 1-10.

Philip, P., Taillard, J., Moore, N., Delord, S., Valtat, C., Sagaspe, P. and Bioulac, B.(2006) The effects of coffee and napping on nighttime highway driving: a randomized trial. *Ann. Intern. Med.* 144: 785–791.

Ranney T. A., Mazzae E., Garrott R., Goodman M. J. (2000). NHTSA Driver Distraction Research: Past, Present, and Future. Driver Distraction Internet Forum.[http://www.nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-13/driver distraction/Welcome.htm](http://www.nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-13/driver%20distraction/Welcome.htm)



Reyner, L. A., Horne, J.A. (1998a). Falling asleep at the wheel: Are drivers aware of prior sleepiness?. *International Journal of Legal Medicine*, 111, 120-123.

Ronen, A. (2003). Physiological changes, performance and subjective feeling while driving under different conditions. PhD thesis, Ben – Gurion University Of the Negev, Israel

Royal, D. (2003). National Survey of Distracted and Drowsy Driving Attitudes and Behavior: 2002 (Volume 1. Findings). Washington DC: U.S. Department of Transportation NHTSA, DOT HS 809 566. April.

Sallinen, M., Harma, M., Akerstedt, T., Rosa, R., Lillqvist, O. (1998) Promoting alertness with a short nap during a night shift. *J Sleep Res* 7, 240-7.

Sagberg, F., Jackson, P., Krüger, H.-P., Muzet, A., & Williams, A. J. (2004). Fatigue, *sleepiness and reduced alertness as risk factors in driving*. Deliverable P4.2 to project IMMORTAL. Institute of Transport Economics, Oslo.

Salvucci, D.D. (2000). Modeling Driver Distraction from Cognitive Tasks. Proceedings of the 24th Annual Conference of the *Cognitive Science Society*.

Scholey, A.B., Harper, S., Kennedy, D.O. (2001). Cognitive demand and blood glucose. *Physiology & Behavior*, 73, 585-592.

Seidel, R., Peryl, A., Nicham, R., Hauser, E. (2000). A taurine and caffeine-containing drink stimulates cognitive performance and well-being. *Amino Acids*, 19, 635-642.

Sherry, P. (2000). Fatigue Countermeasures in the Railroad Industry: Past and Current Developments. PhD, University of Denver



Shinar.D, Gershon, P., Ronen, A., Blatt, J. (2007). Non –conventional driving fatigue countermeasures: energy drinks and shelling and eating sunflower seeds (In process).

Smit, H.J., and Rogers, P.J. (2002). Effects of 'Energy' Drinks on Mood and Mental Performance: Critical Methodology. *Food Quality and Preference* 13, 317-326.

Stein, P. K., Bosner, M.S., Kleiger, R.E., Conger, B.M. (1993). Heart rate variability: a measure of cardiac autonomic tone. *American Heart Journal*, 127, 1376-1381.

Stutts, J.C., Wilkins, J.W., and Bradley, V.V. (1999). Why Do People Have Drowsy Driving Crashes? University of North Carolina Highway Research Center and University of North Carolina School of Medicine for AAA Foundation for Traffic Safety.

Thiffault P., Bergeron J. (2003). Monotony of road environment and driver fatigue. *Accident Analysis and Prevention*, 35, 3, 381 - 391.

Ranney, T.A., Goodman, M.J., Mazzae, E. and Garrott, R. (2000). *NHTSA Driver Distraction Research: Past, Present, and Future*. July 5, 2000 NHTSA Research and Development, Washington, DC

Verwey, W.B., Zaidel, D.M. (1999). Preventing drowsiness accidents by an alertness maintenance device. *Accident Analysis and Prevention*, 31, 199-211.

Wickens, C.D. (1992). Cognitive factors in display design, *Journal of Washington academy of sciences*, 83, 179-201.



Wijesuriya, N., Tran, Y., Craig, A. (2006). The psychophysiological determinants of fatigue. *International Journal of Psychophysiology* , 63, 77–86.

Wylie, C. D., Shultz, T., Miller, J. C., Mitler, M. M., Mackie, R. R. (1996). Commercial Motor Vehicle (CMV) Driver Fatigue and Alertness Study (DFAS): *Project report. Washington DC, USA, Federal Highway Administration, Rep. No. FHWA-MC-97-002*

Young, M.S., Stanton, N. A. (2002). Malleable Attentional Resources Theory: A New Explanation for the Effect of Mental Underload on Performance. *Human Factors*, 44, 365-375.

משרד התחבורה והמרכז לבטיחות בדרכים
<http://www.mot.gov.il/wps/portal/Default.jsp>

אתר הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים, ישראל.
<http://pasimlev.mot.gov.il/RoadSafety/Statistics/>

האתר הרשמי של משטרת ישראל – ניתוח מגמות.
<http://www.police.gov.il/>

הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה – דוחות שנתיים
<http://www.cbs.gov.il/reader>



נספחים

טבלאות נתונים סטטיסטיים: שלב שני.

מדדי ביצוע

טבלה 1: שונות ממוצעת של המיקום בנתיב

Standard deviation of Lane position (n=10)					
Time	ICT		Control		מובהקות סטטיסטית (p < 0.05)
	Avr	SE	Avr	SE	
0-20	0.23	0.02	0.25	0.03	
20-40	0.24	0.02	0.28	0.03	
40-60	0.24	0.02	0.27	0.03	
60-80	0.23	0.02	0.28	0.03	הבדל מובהק בין ה-ICT לביקורת
80-100	0.27	0.02	0.31	0.02	
100-120	0.26	0.02	0.33	0.03	הבדל מובהק בין ה-ICT לביקורת
120-140	0.28	0.03	0.30	0.03	

טבלה 2: שונות מהמהירות הממוצעת:

Standard deviation of Speed (n=10)					
Time	ICT		Control		מובהקות סטטיסטית (p < 0.05)
	Avr	SE	Avr	SE	
0-20	3.49	0.63	4.13	0.60	
20-40	3.11	0.49	3.07	0.48	
40-60	3.14	0.49	4.00	0.44	
60-80	4.11	0.43	4.89	0.47	
80-100	4.50	0.72	5.43	0.58	
100-120	4.26	0.46	6.69	0.53	הבדל מובהק בין ה-ICT לביקורת
120-140	3.87	0.47	4.54	0.41	

טבלה 3: שונות ממוצעת של הטיית ההגה

Standard deviation of Steering wheel (n=10)					
Time	ICT		Control		מובהקות סטטיסטית (p < 0.05)
	Avr	SE	Avr	SE	
0-20	1.67	0.13	1.65	0.16	
20-40	1.50	0.15	1.51	0.19	
40-60	1.49	0.13	1.58	0.16	
60-80	1.44	0.12	1.58	0.14	
80-100	1.52	0.11	1.71	0.17	
100-120	1.58	0.11	2.02	0.18	הבדל מובהק בין ה-ICT לביקורת
120-140	1.65	0.18	1.67	0.16	

מדד פיזיולוגי

טבלה 4: שונות קצב לב (HRV):



H.R.V (n=10)					
Time	With ICT		Without ICT		מובהקות סטטיסטית (p < 0.05)
	Avr	SE	Avr	SE	
Rest Before Driving	102.03	14.40	112.64	21.11	
10	100.00	0.00	100.00	0.00	
20	148.95	29.61	124.07	16.46	
30	150.98	24.11	137.17	24.57	
40	185.21	45.61	153.63	17.36	
50	208.68	48.01	165.29	21.50	
60	227.98	54.60	192.36	38.49	
70	118.17	21.27	158.86	21.47	
80	133.86	28.49	174.92	19.41	
90	213.16	63.81	217.84	31.35	
100	203.32	51.21	215.99	23.70	הבדל מובהק בין With ICT לבין Without ICT
110	117.42	21.13	215.47	38.43	הבדל מובהק בין With ICT לבין Without ICT
120	121.85	15.22	228.29	50.44	
130	181.08	41.21	222.26	48.57	
140	213.18	33.59	205.85	32.28	
Rest After Driving	279.07	78.48	296.16	55.19	

טבלאות נתונים סטטיסטיים: שלב שלישי.

מדדי ביצוע

טבלה 5: שונות ממוצעת של המיקום בנתיב

Standard deviation of Lane position (n=15)									
Time	ICT		Energy		Control		Seeds		מובהקות סטטיסטית (p < 0.05)
	Avr	SE	Avr	SE	Avr	SE	Avr	SE	
10	0.86	0.10	0.77	0.07	0.85	0.11	0.76	0.07	
20	0.93	0.11	0.81	0.08	0.94	0.12	0.93	0.10	
30	1.01	0.11	0.79	0.08	0.98	0.13	1.02	0.11	הבדל מובהק בין אנרגיה לבין ביקורת
40	1.04	0.10	0.80	0.09	1.09	0.14	1.09	0.14	הבדל מובהק בין אנרגיה לבין ביקורת
50	0.93	0.08	0.84	0.10	1.06	0.15	1.09	0.12	הבדל מובהק בין אנרגיה לבין ביקורת
60	1.00	0.09	0.83	0.10	1.17	0.17	1.17	0.11	הבדל מובהק בין אנרגיה ו-ICT לבין ביקורת וגרעינים
70	0.87	0.08	1.06	0.08	1.29	0.12	1.13	0.09	הבדל מובהק בין אנרגיה ו-ICT לבין ביקורת וגרעינים
80	0.75	0.08	0.85	0.11	1.08	0.11	0.99	0.10	הבדל מובהק בין אנרגיה ו-ICT לבין ביקורת וגרעינים
90	0.80	0.08	0.88	0.09	1.14	0.12	1.05	0.10	הבדל מובהק בין אנרגיה ו-ICT לבין ביקורת וגרעינים
100	0.89	0.11	0.98	0.09	1.20	0.13	1.10	0.10	הבדל מובהק בין אנרגיה ו-ICT לבין ביקורת וגרעינים
110	0.99	0.11	0.98	0.10	1.08	0.10	1.04	0.14	
120	0.98	0.12	0.90	0.08	1.05	0.12	1.10	0.16	

טבלה 6: שונות ממוצעת של הטיית ההגה

Standard deviation of Steering wheel (n=15)									
Time	ICT		Energy		Control		Seeds		מובהקות סטטיסטית (p < 0.05)
	Avr	SE	Avr	SE	Avr	SE	Avr	SE	
10	2.02	0.17	1.90	0.11	2.08	0.16	1.82	0.09	
20	2.01	0.16	1.73	0.14	1.94	0.12	1.81	0.09	
30	2.33	0.26	1.80	0.12	2.01	0.14	2.15	0.18	הבדל מובהק בין אנרגיה לבין ICT
40	2.15	0.19	1.37	0.09	2.02	0.14	1.67	0.16	הבדל מובהק בין אנרגיה לבין ICT וביקורת
50	1.78	0.14	1.51	0.13	2.46	0.53	1.91	0.24	הבדל מובהק בין אנרגיה לבין ביקורת
60	1.93	0.14	1.41	0.11	2.47	0.45	2.15	0.16	הבדל מובהק בין אנרגיה ו-ICT לבין ביקורת וגרעינים
70	2.18	0.25	2.23	0.24	2.71	0.31	2.56	0.26	הבדל מובהק בין אנרגיה ו-ICT לבין ביקורת וגרעינים
80	1.34	0.09	1.25	0.11	1.69	0.12	1.44	0.13	הבדל מובהק בין אנרגיה ו-ICT לבין ביקורת וגרעינים
90	1.66	0.12	1.71	0.13	2.15	0.28	1.92	0.16	הבדל מובהק בין אנרגיה לבין ביקורת
100	1.96	0.20	1.76	0.13	3.42	1.22	2.01	0.15	הבדל מובהק בין אנרגיה ו-ICT לבין ביקורת וגרעינים
110	1.93	0.19	1.90	0.19	1.91	0.11	1.89	0.14	
120	1.75	0.19	1.52	0.09	1.70	0.13	1.55	0.12	



מדד פיזיולוגי

טבלה 7: שונות קצב לב (HRV)

H.R.V (n=15)								
Time	ICT		Energy		Control		Seeds	
	Avr	SE	Avr	SE	Avr	SE	Avr	SE
מובהקות סטטיסטית ($p < 0.05$)								
Rest Before Driving	98.92	16.18	102.11	9.84	88.09	11.88	83.39	15.04
10	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
20	116.58	5.75	93.55	10.58	104.40	6.13	106.13	10.98
30	139.42	19.86	102.59	14.61	125.70	11.27	122.45	13.56
40	160.24	21.69	103.44	13.15	148.63	14.70	144.83	18.39
50	147.73	14.80	112.62	15.37	178.63	21.42	159.58	31.73
60	166.71	20.84	125.44	16.83	202.22	20.90	192.42	32.29
70	109.72	12.33	109.74	17.80	190.86	15.46	93.64	11.07
80	109.50	10.47	109.53	14.67	202.99	19.48	91.82	12.94
90	122.70	9.87	120.14	17.07	237.09	18.54	100.92	13.47
100	134.66	15.02	123.04	16.01	232.82	23.80	95.40	11.82
110	166.47	15.05	128.99	13.26	221.68	28.63	159.42	23.43
120	201.39	21.70	162.13	23.51	229.27	25.78	189.72	23.30
Rest After Driving	259.42	53.98	227.31	42.41	320.60	53.19	326.34	100.35

טבלאות נתונים סטטיסטיים: שלב רביעי.

מדדי ביצוע

טבלה 8 שונות ממוצעת של המיקום בנתיב

Standard deviation of Lane position (n=19)						
Time	ICT		ICT+ Energy		Control	
	Avr	SE	Avr	SE	Avr	SE
מובהקות סטטיסטית ($p < 0.05$)						
10	0.76	0.03	0.72	0.03	0.79	0.03
20	0.80	0.05	0.73	0.02	0.82	0.04
30	0.88	0.06	0.77	0.03	0.87	0.06
40	0.95	0.10	0.73	0.03	0.93	0.08
50	0.97	0.09	0.74	0.04	0.99	0.09
60	0.94	0.07	0.79	0.06	0.98	0.07
70	0.75	0.05	0.67	0.03	0.97	0.07
80	0.72	0.05	0.64	0.03	1.07	0.09
90	0.83	0.05	0.68	0.03	1.11	0.08
100	0.90	0.05	0.74	0.03	1.10	0.08
110	1.08	0.08	0.92	0.04	1.11	0.09
120	1.18	0.09	0.85	0.05	1.03	0.06



טבלה 9: שונות מהמהירות הממוצעת:

Standard deviation of Speed (n=19)							
Time	ICT		CT+ Energy		Control		מובהקות סטטיסטית (p < 0.05)
	Avr	SE	Avr	SE	Avr	SE	
10	3.28	0.26	3.10	0.30	3.79	0.52	
20	2.23	0.22	2.47	0.26	2.86	0.66	
30	3.32	0.25	3.27	0.26	3.59	0.47	
40	2.87	0.30	2.72	0.24	3.22	0.45	
50	3.40	0.44	2.08	0.18	3.72	0.44	הבדל מובהק בין שילוב לבין ICT וביקורת
60	3.07	0.39	2.24	0.36	3.91	0.53	הבדל מובהק בין שילוב לבין ביקורת
70	2.37	0.25	2.43	0.28	3.42	0.58	הבדל מובהק בין שילוב ו-ICT לבין ביקורת
80	1.68	0.18	1.75	0.18	3.16	0.46	הבדל מובהק בין שילוב ו-ICT לבין ביקורת
90	2.41	0.20	2.55	0.22	3.67	0.39	הבדל מובהק בין שילוב ו-ICT לבין ביקורת
100	3.21	0.30	2.98	0.26	4.44	0.41	הבדל מובהק בין שילוב ו-ICT לבין ביקורת
110	3.80	0.38	3.71	0.40	4.98	0.53	הבדל מובהק בין שילוב ו-ICT לבין ביקורת
120	3.96	0.52	2.71	0.22	3.91	0.60	הבדל מובהק בין שילוב לבין ICT וביקורת

טבלה 10: שונות ממוצעת של הטיית ההגה

Standard deviation of Steering wheel (n=19)							
Time	ICT		ICT+ Energy		Control		מובהקות סטטיסטית (p < 0.05)
	Avr	SE	Avr	SE	Avr	SE	
10	1.95	0.12	1.90	0.11	1.91	0.13	
20	1.81	0.16	1.72	0.12	1.83	0.14	
30	2.09	0.14	1.90	0.13	2.02	0.13	
40	2.06	0.20	1.80	0.17	2.19	0.22	
50	2.05	0.21	1.44	0.16	2.08	0.19	הבדל מובהק בין שילוב לבין ICT וביקורת
60	2.19	0.16	1.55	0.18	2.29	0.19	הבדל מובהק בין שילוב לבין ICT וביקורת
70	1.54	0.10	1.65	0.19	1.93	0.17	הבדל מובהק בין שילוב ו-ICT לבין ביקורת
80	1.32	0.10	1.25	0.12	1.85	0.20	הבדל מובהק בין שילוב ו-ICT לבין ביקורת
90	1.75	0.13	1.67	0.11	2.37	0.28	הבדל מובהק בין שילוב ו-ICT לבין ביקורת
100	2.18	0.13	1.99	0.16	3.05	0.58	הבדל מובהק בין שילוב ו-ICT לבין ביקורת
110	2.27	0.21	1.94	0.20	2.54	0.19	הבדל מובהק בין שילוב לבין ביקורת
120	2.45	0.18	1.73	0.13	2.01	0.12	הבדל מובהק בין שילוב לבין ICT

מדד פיזיולוגי

טבלה 11: שונות קצב לב (HRV)

H.R.V (n=16)							
Time	ICT		Energy		Control		מובהקות סטטיסטית (p < 0.05)
	Avr	SE	Avr	SE	Avr	SE	
Rest Before Driving	81.39	9.39	91.50	10.38	109.59	11.09	
10	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	
20	96.33	6.63	97.64	10.90	103.64	11.80	
30	113.16	14.48	97.10	9.59	138.92	21.78	
40	149.77	25.34	101.95	12.04	155.06	21.71	הבדל מובהק בין שילוב לבין ICT וביקורת
50	164.08	38.06	98.73	14.02	170.31	23.70	הבדל מובהק בין שילוב לבין ICT וביקורת
60	206.82	41.39	91.33	9.93	191.40	33.02	הבדל מובהק בין שילוב ו-ICT לבין ביקורת
70	119.02	16.43	73.86	9.00	211.02	28.00	הבדל מובהק בין שילוב ו-ICT לבין ביקורת
80	97.25	14.95	63.03	8.36	194.73	23.18	הבדל מובהק בין שילוב ו-ICT לבין ביקורת
90	117.16	17.21	72.74	8.75	212.64	20.69	הבדל מובהק בין שילוב ו-ICT לבין ביקורת
100	157.12	22.65	79.87	9.96	226.18	22.89	הבדל מובהק בין שילוב לבין ICT וביקורת
110	181.76	26.57	110.24	14.46	202.28	19.41	הבדל מובהק בין שילוב לבין ICT וביקורת
120	237.64	31.60	132.72	21.30	296.05	48.07	הבדל מובהק בין שילוב לבין ICT וביקורת
Rest After Driving	227.20	32.41	155.20	24.76	249.67	33.20	הבדל מובהק בין שילוב לבין ICT וביקורת