

השפעת העצימות של פעילות גופנית אירובית אקוטית על היכולת הקוגניטיבית הפלואידית בקרב סטודנטים להוראת החינוך הגופני בגילאי 20-40

מיטל שבת-סימון, גילי יוסף וגלית שביט

תקציר

רקע – לפעילות גופנית יתרונות בריאותיים מוכחים רבים עבור גוף האדם, ולעומת זאת מידת השפעתה על היכולת הקוגניטיבית אינה ברורה. בין היתר נושא זה עולה בהקשרים שבהם פעילות גופנית מתבצעת בזמן פעילות קוגניטיבית או לפנייה, כמו במהלך לימודים בבתי הספר. מחקר זה בדק את השפעתה של פעילות גופנית אקוטית (עצימה אל מול מתונה) על היכולת הקוגניטיבית. שיטה – במחקר זה השתתפו 31 סטודנטים לתואר ראשון בחינוך גופני במכללה לחינוך במרכז הארץ. משתתפי המחקר נתבקשו להגיע לשלושה מפגשים שבהם ביצעו פעילות גופנית (עצימה, מתונה ומפגש מנוחה), ומיד לאחר מכן מבדק קוגניטיבי (מבחן המטריצות של רייבן). ההבדל בין הקבוצות נמדד בעזרת מבחן T בעזרת תוכנת SPSS. תוצאות – הישגי הסטודנטים במבדק רייבן היו נמוכים באופן מובהק (3.19 ± 2.15 , $p < 0.05$) לאחר פעילות גופנית עצימה (HRRMAX 80%) לעומת הישגיהם במבדק לאחר מנוחה (4.32 ± 2.26). לא נמצאה השפעה של פעילות גופנית מתונה (HRRMAX 60%) על תוצאות מבדק רייבן (4.32 ± 2.34) בהשוואה למפגש המנוחה. מסקנה – מחקר זה תומך בגישה הטוענת שאין מניעה לשלב שיעורי חינוך גופני במערכת השעות האקדמית, ובלבד שרמת המאמץ בהם לא תהיה עצימה.

מילות מפתח: יכולת קוגניטיבית, מבחן המטריצות של רייבן, פעילות גופנית אקוטית עצימה, פעילות גופנית אקוטית מתונה, מנוחה

מבוא

על פי נתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, בשנת הלימודים תשע"ו למדו במוסדות אקדמיים בארץ כ-130,000 סטודנטים. מהם כ-40,000 במוסדות להכשרת מורים ולחינוך (הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2016). כן נמצא שאוכלוסיית הסטודנטים באוניברסיטאות ובמוסדות חינוך אקדמיים אחרים משקיעה יותר זמן בפעילות גופנית ומבצעת פעילות אינטנסיבית יותר לעומת מגזרים אחרים של האוכלוסייה (Shephard, 1994). לפעילות גופנית (פ"ג) ישנם יתרונות בריאותיים רבים (Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2008) ובפרט כושר גופני אירובי חיוני לחיים בריאים, פעילים ואיכותיים (קניץ, 2004). במוסדות אקדמיים רבים ישנם מתקנים לפעילות גופנית, והם אף מאפשרים לתלמידיהם לבחור

בחוגים לפעילות גופנית – בפרט במוסדות אקדמיים לחינוך. במוסדות אלו במחלקות לחינוך גופני, ההשתתפות בקורסים פעילים היא לעיתים אף חובה. שילובם של שיעורים הדורשים מאמץ גופני במהלך סדר יום אקדמי מעלה את השאלה באשר להשלכותיה המיידיות של פעילות אירובית על תפקודם של הסטודנטים בשיעורים שלאחר הפעילות, קרי – על יכולתם השכלית-קוגניטיבית.

פעילות גופנית לאורך זמן דורשת אנרגיה שמקורה העיקרי הוא המסלול האירובי המתבצע במיטוכונדריה של כל תאי הגוף ובפרט במיטוכונדריה של השרירים. ייצור האנרגיה במסלול האירובי מחייב אספקה קבועה של חמצן. החמצן מגיע לגוף מהאוויר, הוא נכנס לגוף דרך הריאות ומשם מובל לכל הגוף דרך זרם הדם. תפקיד הלב הוא להזרים את הדם לאיברים ולשרירים במהירות המרבית. ככל שהמאמץ יהיה עצים יותר, כך יהיה צורך גדול יותר באספקת חמצן לשרירים, ולכן במהלך מאמצים עצים יעבדו מערכות הנשימה, הלב וכלי הדם קשה יותר. כושר אירובי גבוה מתבטא ביכולת טובה יותר של כל המערכות הקשורות לאספקת החמצן, וככל שהאדם יהיה בכושר אירובי טוב יותר, כך תהיה לו יכולת טובה יותר לקלוט חמצן בריאות, להוביל את החמצן לשרירים (בעזרת הלב וכלי הדם) ולקלוט את החמצן בשרירים (נייס, 2003; קניץ, 2004).

על מנת למדוד את רמת הכושר הגופני האירובי אפשר להשתמש בשיטות מגוונות. כמעט בכל השיטות, המשתנים הפיזיולוגיים העיקריים הנמדדים הם: קצב הלב, צריכת החמצן, רמת חומצת החלב בדם, אוורור הריאות ורמת הנשימה. מבין משתנים פיזיולוגיים אלה צריכת החמצן הוא האמצעי האמין ביותר לעצמות הפעילות. אולם לשם מדידת צריכת החמצן יש צורך בתנאי מעבדה מיוחדים, ועל כן קשה לעשות בה שימוש בתנאי שדה (מקל, 2005). לעומת זאת, בתנאי שדה אפשר לבצע מבחני מאמץ תת-מרביים לחיזוי צריכת חמצן מרבית (צח"מ), המתבססים על מדידת קצב לב. המבדקים התת-מרביים לחיזוי צריכת חמצן מרבית מבוססים על הקשר הליניארי שבין קצב הלב לעלייה בצריכת החמצן. כלומר, ככל שאדם מבצע מאמץ עצים יותר, הוא יצטרך כמות גדולה יותר של חמצן לשרירים. כדי לספק את כמות החמצן הנדרשת, קצב פעימות הלב יעלה (נייס, 2003).

כאשר אדם רוצה לדעת באיזה קצב לרוץ על מנת לשפר את כושרו הגופני האירובי, עליו לחשב את עוצמת המאמץ על פי קצב הלב (דופק). השיטה הפשוטה ביותר לקביעת עומס העבודה הגופנית היא חישוב דופק המטרה של האימון כאחוז מהדופק המרבי (מקל, 2005). נוסחת קרוונן מעריכה בצורה טובה את דופק המטרה לאנשים בעלי יכולת אירובית ממוצעת וגבוהה, בעוד שלבעלי יכולת נמוכה תיתכן טעות של כ-10%. ההפרש שבין הדופק המרבי (חישוב דופק מרבי מתבצע כך: המספר 220 פחות הגיל הכרונולוגי) לדופק במנוחה מכונה רזרבת קצב הלב או עתודת הדופק (HRR):

$$RHR + __\% X (MHR - RHR) = RHR + __\% X (HRR)$$

פעילות גופנית במאמץ בינוני תהיה 60%-75% מהדופק המרבי (40%-60% מהצח"מ) ופעילות גופנית בעצימות גבוהה תהיה בעומס של 80%-85% מקצב הלב המרבי (70%-75% מהצח"מ) (נייס, 2003).

לפעילות גופנית ישנם יתרונות בריאותיים רבים (Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2008) המתבטאים בהיבטים גופניים, רגשיים, חברתיים, קוגניטיביים ועוד. מחקרים רבים נערכו על מנת להבין את היתרונות של פעילות גופנית בהיבט הגופני פיזיולוגי. לדוגמה, פעילות גופנית אירובית סדירה ברמת עצימות מתאימה גורמת לשיפור בכושר האירובי, המתבטא בכמה שינויים פיזיולוגיים חיוביים, כמו שריר לב חזק יותר, חדרי לב גדולים יותר, נפח פעימה גדול יותר. כתוצאה מהשינויים הללו בלב, כמויות הדם העוברת לגוף בכל כיווץ לב גדולה יותר. כתוצאה מכיווץ חזק יותר של הלב, מספר פעימות הלב בדקה (הדופק) יפחת בלי לפגוע בכמות הדם – כלומר, עבודת הלב תהיה יעילה יותר; תפוקת הלב עולה, וכתוצאה מכך ישנו מעבר חמצן רב יותר ויעיל יותר לשרירים הפועלים.

כמות גדולה יותר של חמצן בשרירים מאפשרת יצירת אנרגיה רבה יותר בשרירים הפעילים במאמץ, וכתוצאה מכך הביצועים הגופניים יהיו טובים יותר. כושר אירובי טוב מוריד גם את לחץ הדם הסיסטולי והדיאסטולי במנוחה ובמאמצים תת-מרבניים ובעיקר בבעלי לחץ דם גבוה. כושר אירובי טוב משפר את צריכת החמצן בכ-25%, ולכן מאפשר פעילות ברמות מאמץ גבוהות, זרימה של דם רב יותר לשרירים ושיפור בחילוף החומרים. מערכת הנשימה משתפרת אף היא, ויכולת ההתאוששות ממאמצים גופניים גוברת (קניץ, 2004). פ"ג סדירה מפחיתה גם את כמות השומן בגוף ואת הסיכון לפתח השמנת יתר, היא משפרת את הפרופיל המטבולי, מגבירה את מסת העצם ומשפרת את הכושר הגופני הכללי (Reiner, Niermann, Jekauc, & Woll, 2013). פ"ג סדירה מצמצמת גם את הסיכון לפתח דיכאון וחרדה (Jerstad, Boutelle, Ness, & Stice, 2010; Tsiantoula, Tsiadoula, Patsiaouras, & Kokaridas, 2010; Henry, Anshel, & Michael, 2006).

מערכת העצבים המרכזית (CNS) בגוף האדם, שולטת על כל מערכות הגוף שלנו וגם, כמוכן, על החשיבה והקוגניציה. מערכת זו נמצאת במוח הראש ובמוח השדרה. מוח הראש נמצא כולו בתוך הגולגולת ומורכב משלושה חלקים המשותפים לכל היונקים: המוח הגדול (cerebrum), המוח הקטן (cerebellum) וגזע המוח. ניתן לחשוב על ה-CNS כעל מרכז השליטה והבקרה של מערכת העצבים (Bear et al., 2007). למוח שלושה תפקידים עיקריים: קבלת מידע, עיבוד המידע ומתן פקודות לביצוע. המעטפת החיצונית של המוח, ה-cerebral cortex, מופקדת על התפקודים הייחודיים והמורכבים של האדם ומתמקדת בתחום הקוגניטיבי, כלומר למידה, שפה, חשיבה וזכירה (קניאל, 2001). גם לחלקים אחרים של המוח חלק בתפקודים קוגניטיביים גבוהים. להיפוקמפוס, למשל, הממוקם במערכת הלימבית, בין הקורטקס למבנים התחתונים, תפקיד קריטי בזיכרון האנושי. גם לגרעינים הבסיסיים (basal ganglia) תפקיד בשליטה על פעולות קוגניטיביות מורכבות (Anderson, 2005).

ממצאים מלמדים שלאיימון הגופני ולכושר גופני יש חלק בעיצוב פעילות המוח. מחקרים שנערכו במודלים של בעלי חיים הראו שכושר גופני מגביר את ייצור הגורם הניורטרופי המוחי (brain-derived neurotrophic factor — BDNF), חלבון בנוירונים (תאי העצב) המשפר את גדילתם, את פריסתם ואת תיקונם של הנוירונים. האיימון הגופני משפר גם את רמת המוליכים העצביים (neural transmitters) המשפיעים על מצב הרוח, על רמת האנרגיה ועל המוטיבציה (Berg, 2010). מחקרים נוספים הראו שבעת אימון גופני השרירים מפרישים את פקטור הגדילה דמוי

האינסולין 1 (Insulin-like growth factor 1, IGF-1). ייתכן שהורמון זה פועל יחד עם חלבון ה-BDNF ומגביר השפעתו החיובית על הנוירונים ועל היווצרותם של נימי דם חדשים. העובדה ששינויים אלה מתרחשים באזורי הקורטקס המוטורי ובאזורי החישה אינה מפתיעה, אך מעניין לציין שהשינויים הללו מתרחשים גם בהיפוקמפוס – אזור במוח הקשור לזיכרון ולמידה (Berg, 2010).

התפתחות תחום טכנולוגיית ההדמיה בשנים האחרונות מאפשרת לחוקרים לבחון שינויים נוירולוגיים ופיזיולוגיים במוח בעקבות אימון גופני גם בבני אדם. מחקרים ספורים בדקו את השפעת הכושר הגופני על מוח האדם. נמצא שגידול ברמות BDNF, המיוחסת לאימון גופני, הביאה לגדילתו של ההיפוקמפוס (Erickson & Kramer, 2009). פ"ג מתונה יכולה להגביר את זרימת הדם הכולל במוח בכ-25% (Bouchard, Blair, & Haskell, 2007) ובכך להגביר את כמות הגלוקוז, החמצן והחומרים האנרגטיים במוח (Kashihara, Maruyama, Murota, & Nakahara, 2009). מעניין לציין שחוקרים מצאו שהגברה של זרימת הדם בקורטקס אופיינית רק לפעילות שרירים דינמית, ולא סטטית. כן נמצא שכאשר המאמץ הגופני קל מדי, לא נצפתה הגברה של זרימת הדם במוח למרות הגברת זרימת הדם בגוף באופן כללי.

במאמרי סקירה על מחקרים שבחנו השפעה של פעילות גופנית על תפקודים קוגניטיביים נעשה שימוש ביותר מ-60 מבדקים שונים לעירור פעילות קוגניטיבית או למדידת רמת הקוגניציה (McMorris, Sproule, Turner, & Hale, 2011; Smith et al., 2010; Tomporowski, 2003; Tomporowski & Ellis, 1986). מקורה של המילה קוגניציה במאה ה-15 מהמילה הלטינית Cognoscere, ופירושה אז היה "חשיבה ומודעות". בהקשר המדעי המודרני הכללי קוגניציה היא "הפעילות או התהליך המנטלי של השגת ידע והבנתו באמצעות מחשבה, ניסיון והחושים" (Neisser 2014).

החל משנות ה-60 של המאה הקודמת התגבש והתבסס שדה מחקר חדש בשם "מדע הקוגניציה". שדה מדעי זה מבקש לחקור מהי קוגניציה ומתבסס על דיסציפלינות שונות, בהן פסיכולוגיה קוגניטיבית, אינטליגנציה מלאכותית, בלשנות, פילוסופיה, מדעי המוח ואנתרופולוגיה קוגניטיבית (Eckardt, 1995). במדעי הקוגניציה למושג "קוגניציה" יש פירוש צר יותר, המתאר את תהליכי עיבוד המידע במוח, כלומר, את התהליכים שבאמצעותם מעובד, מסונן, מפורט, מאוחסן ומשומשם מידע מהחושים. המבדקים הקוגניטיביים הרבים שפורסמו במחקרים השונים סווגו לקבוצות. סמית' קטלג את המבדקים שנסקרו על פי תחומי הקוגניציה שאותם הם מביאים לידי פעולה וביטוי: ריכוז ומהירות עיבוד (Attention and Processing Speed), זיכרון עבודה (Working Memory), זיכרון ותפקודים ניהוליים (Executive Function) (Smith et al., 2010).

המושג "תפקודים ניהוליים" (Executive Cognitive Function – ECF) משמש להצר עוד יותר את המשמעות של אותן יכולות הנדרשות לביצוע פעולה מנטלית הדורשת תשומת לב וריכוז. התפקודים הניהוליים מבצעים משימות שאותן האינסטינקט והאינטואיציה – הפועלים באופן מהיר ואוטומטי – אינם יכולים להשלים. בניגוד להם, השימוש ב-ECF דורש מאמץ מחשבתית: למוח האנושי קל יותר להתמיד באופן פעולה מסוים מאשר לשנות אותו, להיכנע להסחת דעת מאשר להתעלם ממנה ולהמשיך לפעול באמצעות "הטייס האוטומטי" – שאינו דורש מאמץ.

ה-ECF כולל שלושה תפקודים בסיסיים: עכבה (inhibition – מניעת הסחת דעת מהמטרה), זיכרון עבודה (working memory) וגמישות קוגניטיבית (cognitive flexibility). על בסיס התפקודים הבסיסיים הללו נבנים תפקודים ניהוליים מדרגה גבוהה, בהם הסקת מסקנות (reasoning), פתירת בעיות (problem solving) ותכנון (planning). תפקודי הסקת המסקנות ופתירת הבעיות נקראים יחד אינטליגנציה פלואידית (fluid intelligence), והיא מתייחסת ליכולת להסיק מסקנות ולפתור בעיות באמצעות זיהוי תבניות ויחסים בין פריטים. אינטליגנציה זו מקיפה הן יכולת הסקה דדוקטיבית הן הסקה אינדוקטיבית (Diamond, 2013).

כאמור, התפקודיים הניהוליים הקוגניטיביים אחראים בין היתר גם לריכוז במשימה ולהתמודדות עם מסיחים. על כן, במבדקים שבהם מבקשים למדוד את התחום הקוגניטיבי הזה, מעמידים בפני הנבדק משימה ומסיחים. מבין המבדקים המקובלים המשמשים לבדיקת תפקודים ניהוליים נמצאים מבדק רייבן, מבדק Stroop, מבדק פלנקר ומבדק d2 (Sibley, Etnier, & Le) (Masurier, 2006; Eriksen & Eriksen, 1974; Bates & Lemay, 2004).

מחקרים אחדים תיארו את השפעתה של פעילות גופנית אקוטית על פעילות קוגניטיבית באמצעות המודל הקוגניטיבי-אנרגטי של סנדרס. במודל זה המערכת הקוגניטיבית הניהולית (executive function) מבקרת את חלוקת האנרגיה בין מערכות הקוגניטיביות הקשורות בחישה, בקבלת ההחלטות ובהכנת תגובה. ההשערה היא שהמאמץ הגופני גורם לכוונון חלוקת המשאבים בין המערכות הקוגניטיביות הללו בצורה שיוצרת תגובה מיטבית. תחת הנחה זו דומה השפעת המאמץ הגופני להשפעת סמים מעוררים. הם אינם משפיעים ישירות על המערכת הקוגניטיבית, אלא מייעלים את חלוקת המשאבים (Tompsonowski, 2003). על פי המודל של סנדרס, שמקורו בפסיכולוגיה הקוגניטיבית, מידה מתונה של גירוי היא בעלת השפעה מיטיבה על המערכות הקוגניטיביות, בעוד שמידה נמוכה של גירוי או גירוי רב מדי הם בעלי השפעה שלילית על מערכות אלה. לפיכך חוקרים שיערו כי גם למאמץ הגופני השפעה בצורת U הפוכה, והשפעת מאמץ גופני מתונה תהיה מיטיבה לעומת השפעה של מאמץ קל או עצים (McMorris et al., 2011).

בניסוי שבו בודדו את האספקטים הספציפיים של השפעת המאמץ הגופני על הקוגניציה, בחרו החוקרים להשתמש במבדק Stroop המקובל כבחון תפקודים ניהוליים. קבוצה שמנתה 79 סטודנטים בני 22 בממוצע השתתפו בשני מפגשים: מפגש פעיל ומפגש יושבני. המשתתפים הצליחו במעט יותר אך במובהק במבדקי ה-Stroop לאחר הפעילות הגופנית. השיפור המובהק נמצא במבדק "color-word interference" אך לא במבדק "simple color-naming". החוקרים הסיקו מהניסוי שמאמץ גופני עשוי לשפר יכולת קוגניטיבית בעזרת שיפור עיבוד מכוון השגת מטרות (goal oriented processing) (Sibley et al., 2006).

כדי לבחון את השפעת המאמץ הגופני על התפקודים הניהוליים הקוגניטיביים ועל התשתיות הניורולוגיות שלהם במוח, נעשה ניסוי שבו נבדקו 25 צעירים בריאים בני 20 בממוצע. קבוצת הבקרה ביצעה מבדק Stroop לפני מנוחה של 15 דקות ואחריה. הקבוצה הפעילה ביצעה את מבדק Stroop לפני ואחרי רכיבה של 10 דקות על אופני כושר (בעצימות קלה 30% VO₂max) שלוותה במנוחה של 5 דקות. באופן זה שתי הקבוצות ביצעו את מבדקי ה-Stroop במרווח של 15 דקות זה מזה. במהלך מבדקי ה-Stroop נסרקו הנבדקים באמצעות non-invasive functional

יותר במבדק Stroop לאחר הפעילות לעומת בחינה ללא פעילות. סקירת ה-fNIRS זיהתה עירור מוחי רב יותר באזורים שונים בקבוצה שביצעה פעילות גופנית (Byun et al., 2014). בניסוי אחר, שבו ביקשו לבחון את גורם הגיל על השפעת אימון גופני אקוטי מתון על יכולות קוגניטיביות, חולקו 144 משתתפים בגילים 19 עד 93 לשתי קבוצות – קבוצת אימון מתון וקבוצת בקרה. לצורך הערכת היכולת הקוגניטיבית בחרו החוקרים לבחון את הזיכרון לטווח קצר באמצעות מבדק n-back. הם מצאו שלפעילות הגופנית המתונה הייתה השפעה חיובית על זמן התגובה במבדק 2-back, אך לא הייתה השפעה על דיוק התשובות במבדק. ההשפעה של הפעילות הגופנית הייתה ללא הבדלים סטטיסטיים מובהקים בין קבוצות הגיל השונות. החוקרים הסיקו כי קיימת השפעה מיטיבה מסוימת של פעילות גופנית אקוטית מתונה על יכולות קוגניטיביות, וזו אינה מושפעת מגיל (Hogan, Mata, & Carstensen, 2013). ניסוי מקיף יותר, שכלל שמונה מבדקים קוגניטיביים שונים נערך כדי לבדוק את השפעתה של פעילות גופנית אירובית מתונה (HRR 70-60%) על הישגיהם של עשרה בוגרים צעירים בריאים, סטודנטים לרפואה, בגיל ממוצע של 19.5. מבדקי הקוגניציה והפעילות הגופנית נערכו במעבדה ממוזגת במהלך שעות אחה"צ על פני יומיים. שמונה מבדקי הקוגניציה שבהם נבחנו הנבדקים, הקיפו תחומים קוגניטיביים שונים וכללו שני מבדקים שונים מכל תחום: זיכרון (מבדק Spatial Odd one-ו Grammatical Reasoning), הסקת מסקנות (מבדק Paired Associates-ו Span), ריכוז (out Feature Match-ו Polygons) ותכנון (Spatial Search-ו Spatial Slider). בשבעה מתוך שמונת המבדקים השיגו הנבדקים ממוצע ציון טוב יותר לאחר הפעילות הגופנית מאשר לפני. תוצאות טובות יותר באופן מובהק סטטיסטי הושגו במבדקי Paired Associates, Odd one-ו Span, ריכוז (out Feature Match-ו Polygons) ותכנון (Spatial Search-ו Spatial Slider). לא היה שיפור מובהק במבדקי הריכוז. לנבדקים לקח פחות זמן באופן מובהק סטטיסטי לסיים את המבדק לאחר הפעילות הגופנית מאשר לפני. החוקרים הסיקו מהניסוי שמופע אקוטי של פעילות גופנית מתונה יכול לשפר אספקטים מסוימים של קוגניציה (Nanda, Balde & Manjunatham, 2013). במחקר נוסף שערכו החוקרים הללו הם בחנו את ההשפעה של מופע אקוטי של פעילות אירובית עצימה על יכולות קוגניטיביות, זאת לאור העובדה שאימון אינטרוולים בעצימות גבוהה מוצע כתחליף חסכוני בזמן לאימון לב-ריאה מסורתי. מטרתם הייתה לבחון את ההשערה שהזכרה לעיל, כי יש יחס של U הפוכה בין מידת העצימות של הפעילות לבין ההשפעה המיטיבה שלה על היכולת הקוגניטיבית של הנבדקים. כלומר, בעוד שלפעילות בעצימות מתונה תהיה השפעה מיטיבה על יכולות קוגניטיביות, הרי שלאימון אינטרוולים עצים תהיה השפעה גרסיבית. מניתוח התוצאות הסיקו החוקרים שבניגוד לתאוריית ה-U הפוכה, לא חלה הרעה ביכולות הקוגניטיביות שנמדדו לאחר אימון אינטרוולים עצים (Alves et al., 2014). במחקרים נוספים ביקשו לבדוק אם פעילות גופנית אירובית בעצימות משתנה משפיעה באופן שונה על היכולות הקוגניטיביות של הנבדקים. במחקר מ-2009 השתתפו שתי קבוצות של בוגרים: האחת, בוגרים בגילים 19-25, והשנייה – בגילים 60-74. בכל אחת מהקבוצות היו 12 משתתפים. הנבדקים ביצעו מבדק פלנק מתוקן לאחר מפגש ללא פעילות, מבדק לאחר מפגש עם פעילות קלה (VO₂max 30%) ומבדק לאחר מפגש עם פעילות מתונה (50%). בזמן המפגשים נמדדו

מדדי P3 (מדדים אלקטרופיזיים של המוח). המשתתפים משתי הקבוצות הציגו זמן תגובה קצר יותר אחרי המאמץ המתון יחסית למבדקים האחרים (Kamijo et al., 2009). 199 תלמידי בתי ספר ממרכז הארץ ביצעו מטלה מוטורית הכוללת זריקת כדור לעבר מטרה ומטלה קוגניטיבית הדורשת קשב וריכוז מרבי – מבדק ריכוז d2. התלמידים חולקו ל-3 קבוצות. קבוצת הביקורת לא ביצעה מאמץ. שתי הקבוצות הפעילות רצו מרחק של 2,000 מטר. קבוצה אחת ביצעה ריצה בדרגת קושי "בינונית" – 12 דקות בקצב לב התואם 60% מהיכולת המרבית של הנבדק, וקבוצה שנייה ביצעה ריצה "קשה" – 9 דקות בקצב לב התואם 80%-85% מהיכולת המרבית. נמצא שמאמץ מתון מקדם את הריכוז יותר מאשר חוסר מאמץ או מאמץ גבוה (פנחס ומויאל, 2004).

מבדק נוסף שנערך בארץ וביקש לבדוק את ההשפעה של פעילות גופנית ברמות שונות של מאמץ נערך גם בקרב אוכלוסיית מבוגרים בגיל העמידה המאוחר. המחקר ביקש לבדוק אם מופע אקוטי של פעילות גופנית משפיע על גמישות קוגניטיבית ועל טווח ריכוז. בפרט בדק המחקר את ההבדל בהשפעת פעילות אקוטית מתונה, כ-60% מעתודת דופק הלב, לפעילות עצימה-מתונה, כ-70% מעתודת הדופק. מידת הגמישות הקוגניטיבית נבחנה באמצעות מבדק Alternate Uses. זהו מבדק נפוץ להערכת גמישות קוגניטיבית. המשתתפים חולקו אקראית לשלוש קבוצות: פעילות מתונה, פעילות עצימה-מתונה וקבוצת בקרה. המשתתפים ביצעו את המבדקים הקוגניטיביים לפני המפגשים ואחריהם. החוקרים לא מצאו הבדלים בין שתי הקבוצות הפעילות לבין עצמן, אך הקבוצות הפעילות הציגו שיפור בתוצאות מבדק Alternate Uses להערכת גמישות קוגניטיבית. קבוצת הביקורת לא הציגה שיפור כזה. במבדק טווח הריכוז לא נמצא הבדל בין הקבוצות הפעילות לקבוצה הלא פעילה (Netz, Tomer, Axelrad, Argov, & Inbar, 2007).

במבדק השוואתי נוסף של סוגי מאמץ, 87 בוגרים צעירים בגיל ממוצע של 21.4 השלימו מגוון הערכות קוגניטיביות לאחר פעילות גופנית ולאחר מנוחה. הנבדקים מוינו באופן אקראי לארבע קבוצות. קבוצת הביקורת לא ביצעה פעילות והמתנה 30 דקות במנוחה. קבוצה ראשונה – ביצעה פעילות במאמץ קל (40%-50% מ-HRmax מוערך) במשך 30 דקות, קבוצה שנייה – ביצעה פעילות במאמץ מתון במשך 30 דקות (51%-70% מ-HRmax מוערך), ואילו הקבוצה השלישית – ביצעה פעילות במאמץ גבוה (71%-85% מ-HRmax מוערך) במשך 30 דקות. נמצא שקוגניציה הקשורה לריכוז הייתה טובה יותר באופן מובהק רק בקבוצת המאמץ המתון. לא נתגלה יחס בין רמת המאמץ להיבטים אחרים של קוגניציה שנבדקו (Loprinzi & Kane, 2015).

לסיכום, ההשפעה של פעילות גופנית על תהליכים קוגניטיביים נחקרת זה עשורים רבים. אולם טרם אפשר לגבש הכרעה חד משמעית מהי אופייה של הפעילות הגופנית הנדרשת, ואילו תהליכים קוגניטיביים רגישים להשפעתה. בתחילת הדרך נדמה היה שהמחקר המדעי אינו מצליח להצביע על השפעה מובהקת של המאמץ גופני על תהליכי חשיבה כלל (Tomprowski & Ellis, 1986). מחקרים מאוחרים יותר הצליחו ליצור ביסוס מדעי משכנע לכך שאכן קיימת השפעה קצרת טווח של מופע אקוטי של פעילות גופנית על הקוגניציה, אלא שהיא סלקטיבית באופייה ובת חלוף (Tomprowski, 2003). הבנה מדויקת של מגבלות ההשפעה של פ"ג ואופייה דורשת מחקרים נוספים.

כדי להוסיף להבנה באשר להשפעות המאמץ הגופני על התהליכים הקוגניטיביים במוח האדם, שאלת המחקר הנוכחית התמקדה בהשפעת מאמץ גופני אירובי אקוטי (חד פעמי) הן בדופק מתון (ללא אפקט אימון) הן בדופק עצים (בעל אפקט אימון) על היבט מסוים של קוגניציה – הקוגניציה הפלואידית. כאמור לעיל, סוג זה של קוגניציה מתייחס ליכולת להסיק מסקנות ולפתור בעיות באמצעות זיהוי תבניות ויחסים בין פריטים, ללא שימוש במלל. מטרת המחקר היא, אם כן, בדיקת ההשפעה של פ"ג אקוטית במידות עצימות שונות (מתון, עצים) על היכולת הקוגניטיבית הפלואידית בקרב סטודנטים במכללה להוראה.

שיטת המחקר ותוצאותיו

אוכלוסיית המחקר

במחקר השתתפו 31 סטודנטים לתואר ראשון בחינוך גופני מתוך שתי כיתות לימוד ממכללה לחינוך במרכז הארץ: כיתת תואר ראשון לחינוך גופני וכיתת הסבת אקדמאים לחינוך גופני. גילם של הסטודנטים נע בין 20 ל-40 (ממוצע: 25.84 סטיית תקן: 4.68). מתוכם 47% גברים ו-53% נשים. המאפיינים של המשתתפים במחקר מוצגים בלוח 1.

המחקר התקיים בזמן השיעור של הסטודנטים, ולכן שיעור ההיענות היה כ-75%. חלק מהסטודנטים סירבו להשתתף במחקר. בין הסיבות לסירוב נמנו פציעות קיימות, עייפות או חוסר רצון לפרט את הסיבה. החוקרים היו אנשים חיצוניים ולא השפיעו בשום צורה על מהלך השיעור. הנתונים נאספו בצורה אנונימית לחלוטין. מאחר שהסטודנטים לומדים בכיתה לחינוך גופני, לכולם כשירות גופנית לפעילות ספורטיבית המתאימה לניסוי.

BMI		משקל		גובה		גיל		N	
SD	M	SD	M	SD	M	SD	M		
1.34	20.78	6.61	56.62	7.61	164.88	3.18	24.47	16	נשים
2.90	23.90	9.02	74.17	5.06	176.20	5.65	27.40	15	גברים
2.64	22.24	11.58	64.84	8.49	170.19	4.60	25.84	31	סה"כ

לוח 1

מאפייני הרקע של משתתפי המחקר

המשתתפים חולקו לשלוש קבוצות בצורה אקראית, וכך גם התקבלה ההחלטה באיזו עצימות של מאמץ תתחיל כל קבוצה. כל קבוצה פתחה את סדרת המפגשים במפגש ברמת עצימות שונה – מתונה, עצימה ומנוחה. כך, כל קבוצה נפגשה עם המבדק לראשונה ברמת עצימות שונה, והשפעת ההיכרות עם המבדק פעלה בצורה דומה על כל אחת מרמות הפעילות. הקבוצה

שהתחילה בפעילות עצימה, ביצעה במפגש שלאחריו פעילות מתונה ובמפגש השלישי מנוחה וכן הלאה.

כלי המחקר

מבדק המטריצות הפרוגרסיביות של רייבן, על שם מחברו, נועד למדוד את היכולת ליצור משמעות מתוך אוסף של גירויים מבלבלים. המבדק נשען על בסיס תיאורטי משמעותי ונמצא תקף ויעיל. מחקרים הראו שהוא שקול בתוצאותיו למדידת יכולות בסיסיות אחרות של קוגניציה (Raven, 2000). במבדק מוצגת לנבדק סדרת תבניות, והוא מתבקש לציין איזו מבין שש האפשרויות משלימה את הסדרה. ישנן ארבע גרסאות למבדק רייבן: הסטנדרטית (The Standard Progressive Matrices) – מכילה 60 פריטים בחמש קבוצות של 12; הצבעונית (CPM – Colored Progressive Matrices) – שלה רקע צבעוני שמיועד למשוך תשומת לב, ונועדה לשימוש בקרב ילדים צעירים (גילים 5-11) ולנבדקים מוגבלים שכלית; והמתקדמת (APM – Advanced Progressive Matrices) – שלה 48 פריטים, והיא מכילה בעיות ברמת קושי גבוהה יותר משמעותית (Anderson, 1994; Domino & Domino, 2006).

המונח פרוגרסיביות בשם המבדק נובע מרמת הקושי ההולכת וגוברת של כל סט מטריצות ושל כל מטריצה בתוך כל סט. מבדקי רייבן פופולריים, ונעשה בהם שימוש ביותר מ-1,600 מחקרים (נכון למועד פרסום המקור). מעצם היותו מבדק לא וורבלי הוא פופולרי בפרט בבחינה של אוכלוסיות ילדים או של קשישים המתקשים בעיבוד וורבלי (Domino & Domino, 2006). זו גם הסיבה לכך שהוא ניטרלי מבחינה תרבותית, והמבדק בעל ההטיה התרבותית הנמוכה ביותר (Jensen, 1980). חסרונו המשמעותי של מבדק רייבן הוא משך הזמן שנדרש כדי לבצעו. לשם קיצור משך זמן המבדק נבנו גרסאות מקוצרות המכילות תשע מטריצות בלבד כל אחת. הגרסאות המקוצרות הן בעלות מתאם גבוה למבדק רייבן הסטנדרטי המלא, המונה כאמור 60 מטריצות (Bilker et al., 2012).

מהלך המחקר

מפגשי הפעילות נערכו בשנת הלימודים תשע"ז. כל סטודנט השתתף בשלושה מפגשים שבהם ביצע פעילות גופנית בינונית, עצימה ומנוחה. הסטודנטים נדרשו לרוץ במסלול קבוע במשך 15 דקות. בתחילת כל מפגש הם ענדו שעון ורצועת דופק, ונמדד דופק המנוחה שלהם. לפני תחילת הריצה נאמר להם באיזה דופק מטרה עליהם לרוץ. רק לאחר שנבדקה תקינות מדידת הדופק, יצאו הסטודנטים לריצה.

בהתחשב בגילם של המשתתפים ובטווח הדופק במנוחה שנמדד להם, נמצא כי עליהם לרוץ בדופק של 135-165 פ"ד לפעילות מתונה, (כ-60% מעתודת הדופק המרבי), ולרוץ בדופק מעל 170 פ"ד לפעילות עצימה, (כ-80% מעתודת הדופק המרבי). במהלך הריצה דיווחו המשתתפים בקול על קצב הלב הנוכחי שלהם על פי שעון המדידה. במידת הצורך הורו להם המדריכים להגביר או להפחית את קצב הריצה כדי שיעמדו בדופק המטרה להשגת המאמץ הגופני הרצוי. לאחר 15 דקות הריצה תועד הדופק הממוצע של כל סטודנט. מיד לאחר הריצה ניתנו למשתתפים שתי דקות בדיוק לבצע את מבדק רייבן. בכל מפגש ענו המשתתפים על גרסה שונה של מבדק רייבן המקוצר.

אתיקה – המחקר התבצע על פי כל כללי האתיקה של המכללה. בתחילת הניסוי המשתתפים חתמו על טופס אישור השתתפות במחקר. המשתתפים יכלו לפרוש מהמחקר בכל שלב וללא צורך להסבר. בכל שלבי הניסוי, נשמרה האנונימיות של המשתתפים.

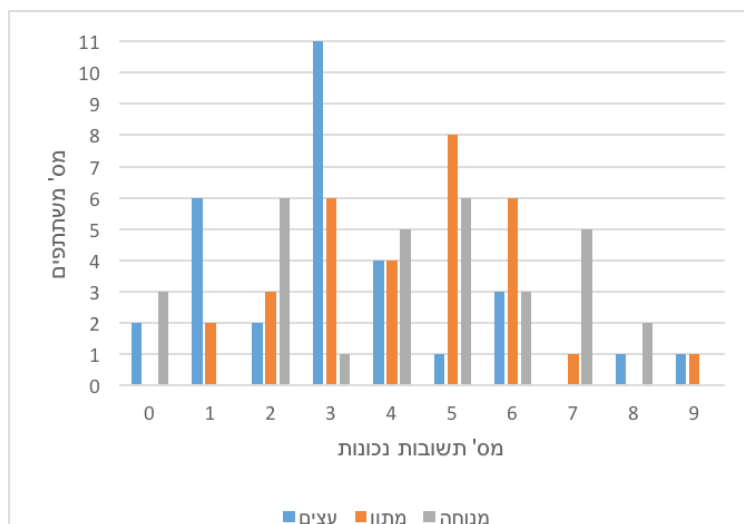
עיבוד הנתונים

על מנת לבחון אם קיימים הבדלים במוצעי המדד הנבדק ברמות עצימות שונות של פעילות הגופנית נערך מבחן T למדגמים תלויים. הניתוח הסטטיסטי בוצע בתוכנת SPSS גרסה 24.

תוצאות המחקר

מחקר זה מבקש לבחון אם קיים הבדל ביכולת הקוגניטיבית הפלואידית לאחר פעילות גופנית לעומת היכולת הקוגניטיבית הפלואידית לאחר מנוחה וכן את הקשר בין רמת העצימות של הפעילות הגופנית, עצימה או מתונה, לבין היכולת הקוגניטיבית הפלואידית. היכולת הקוגניטיבית הפלואידית, כאמור, נבדקה באמצעות מבדקי רייבן. מספר התשובות הנכונות שנענו, היה האינדיקציה לרמת ההצלחה במבדק.

כל המשתתפים ביצעו שלושה סוגים של פעילויות גופניות: 15 דקות ריצה עצימה, 15 דקות של ריצה מתונה ו-15 דקות של מנוחה, בהפרש של שבוע לפחות ממאמץ למאמץ. מיד לאחר המאמץ ביצעו המשתתפים את המבדק המקוצר של רייבן. התוצאות מראות שהיה פיזור רב במספר התשובות הנכונות בקבוצת המנוחה ובקבוצת המאמץ המתון (מספר התשובות הנכונות נע בין כל טווח האפשרויות מ-0 ועד 8). לעומת זאת בקבוצת המאמץ העצים, מספר התשובות הנכונות היה בעיקר בין 1 ל-4 ומעט מאוד ענו על מעל ל-5 תשובות נכונות (תרשים 1).



תרשים 1

התפלגות התשובות הנכונות לאחר פעילות גופנית של ריצה שהייתה מאמץ עצים או מאמץ מתון או מנוחה במבדק רייבן ובו 9 שאלות. מספר המשתתפים: 31 בכל קבוצה

על מנת לבדוק אם היה הבדל ביכולות הקוגניטיבית הפלואידית של המשתתפים בעקבות המאמץ הגופני, חושבו הממוצע וסטיות התקן של תוצאות מבדק רייבן בכל אחת מהקבוצות. מן הממצאים (לוח 2) אפשר לראות שאחרי מנוחה ענו המשתתפים בממוצע על 4.32 (SD=2.26) תשובות נכונות. גם אחרי פעילות מתונה ענו המשתתפים בממוצע על 4.32 (SD=2.34) שאלות נכונות. לעומת זאת, לאחר פעילות עצימה ענו בממוצע על 3.19 (SD=2.15) שאלות נכונות. על מנת לבחון אם קיימים הבדלים מובהקים בממוצעי היכולת הקוגניטיבית הפלואידית על פי מספר התשובות הנכונות במבדק רייבן – לאחר העצימות השונות של הפעילות הגופנית נערך מבדק T למדגמים תלויים (לוח 3). התוצאות המוצגות בלוח 3 ובתשימים 2 ו-3 מראות כי ההבדלים בתוצאות המשתתפים במבדק רייבן אחרי פעילות עצימה לבין תוצאותיהם במבדק לאחר מנוחה או לאחר מאמץ מתון מובהקים ($p < 0.05$).

כלומר, לאחר פעילות עצימה המשתתפים ענו על מספר נמוך יותר של תשובות נכונות לעומת זה שענו אחרי פעילות מתונה או מנוחה. אפשר לראות כי היה הבדל מובהק בין מספר התשובות הנכונות שענו אחרי ריצה עצימה לבין מנוחה, כאשר אחרי מנוחה המשתתפים ענו מספר רב יותר של תשובות נכונות (תרשים 2). נמצא הבדל מובהק גם בין מספר התשובות הנכונות שענו אחרי ריצה עצימה לבין מספר התשובות אחרי ריצה מתונה, כאשר אחרי ריצה מתונה המשתתפים ענו מספר רב יותר של תשובות נכונות (תרשים 3). לעומת ההבדלים שנמצאו לאחר מאמץ עצימה, ממוצע מספר התשובות הנכונות לאחר מנוחה ($M=4.32$) היה זהה לממוצע התוצאות לאחר פעילות גופנית ברמת עצימות מתונה, ולא נמצא הבדל ביכולת הקוגניטיבית לאחר פעילות מתונה או אחרי מנוחה (תרשים 4).

SD	M	N	
2.26	4.32	31	מנוחה
2.34	4.32	31	מתונה
2.15	3.19	31	עצימה

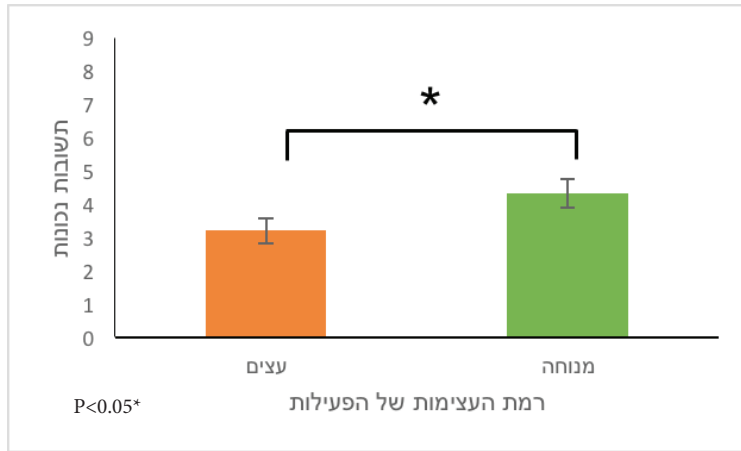
לוח 2

ממוצעים וסטיות תקן עבור מספר התשובות הנכונות במבדק רייבן לפי עצימות הפעילות

Sig (2-tailed)	Df	T	SE	SD	M	
* 0.032	30	-2.253	0.50106	2.78977	-1.12903	עצים – מתון
* 0.039	30	-2.154	0.52413	2.91824	-1.12903	עצים – מנוחה
1.000	30	0.000	0.60995	3.39608	00000.	מתון – מנוחה

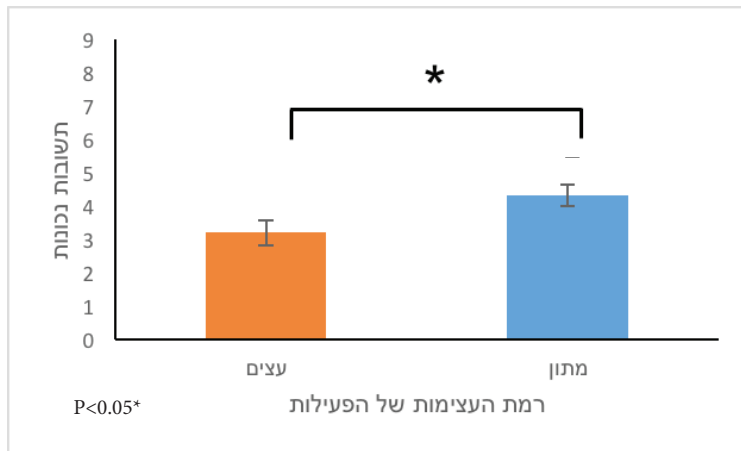
לוח 3

תוצאות מבדק T למדגמים תלויים



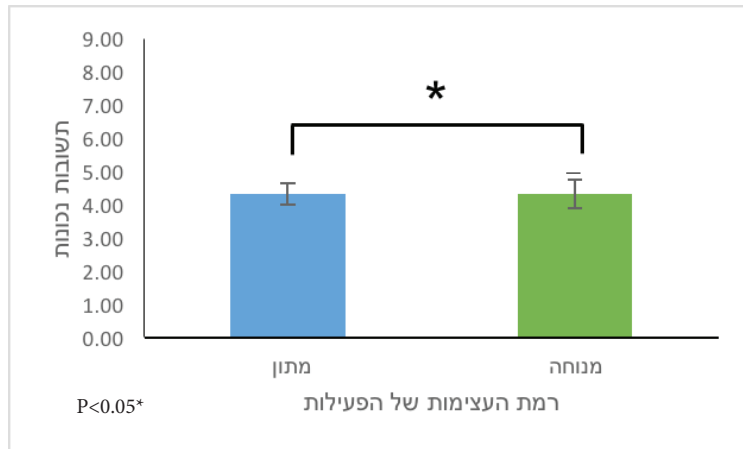
תרשים 2

ההבדל בין כמות התשובות הנכונות שסומנו ע"י המשתתפים במבדק ריבן לאחר פעילות עצימה ולאחר מנוחה



תרשים 3

ההבדל בין כמות התשובות הנכונות שסומנו ע"י המשתתפים במבדק ריבן לאחר פעילות עצימה ולאחר פעילות מתונה



תרשים 4

ההבדל בין כמות התשובות הנכונות שסומנו ע"י המשתתפים במבדק ריבן לאחר פעילות מתונה ולאחר מנוחה

דיון ומסקנות

שאלת מידת ההשפעה של פעילות גופנית אקוטית על יכולת קוגניטיבית עולה בהקשרים שבהם פעילות פיזית מתבצעת לפני פעילות קוגניטיבית מאתגרת או בזמן פעילות כזו. שאלה זו רלוונטית וחשובה בבניית מערכת שעות הלימוד בבית הספר, מפני שפעילות גופנית עצימה/מתונה יכולה להשפיע על יכולת הלמידה של הסטודנט או התלמיד. מטרת מחקר זה הייתה לבדוק את ההשפעה של פעילות גופנית אקוטית על יכולת קוגניטיבית פלואידית מיד לאחריה ואת הקשר שבין עצימות הפעילות הגופנית לבין יכולת זו.

במחקר זה נעשה שימוש במבדק המטריצות של ריבן להערכת היכולת הקוגניטיבית הפלואידית. במבדק ריבן בוחן את האינטליגנציה הפלואידית המתמטיקה ליכולת הסקת מסקנות ופתרון בעיות באמצעות זיהוי תבניות ויחסים בין פריטים. בכך מוסיף המחקר הנוכחי נדבך נוסף על המאפיינים הקוגניטיביים שנבדקו במחקרים דומים, שנסקרו במחקר זה ושביקשו לענות על מידת ההשפעה של פעילות גופנית אקוטית על היכולת הקוגניטיבית על מרכיביה. לאור העובדה שמבדק ריבן אינו מבדק ורבלי, הרי הוא מתאים במיוחד לאוכלוסייה ההטרואגנית תרבותית של מדגם המחקר.

חשוב להדגיש כי שלוש הקבוצות ביצעו את הפעילות הגופנית העצימה, המתונה ואת המנוחה בהפרשים של לפחות שבוע זה מזה, כך שאין השפעה של פעילות אחת על האחרת. כמו כן, הבחירה בקבוצה שתתחיל בפעילות עצימה מתונה או מנוחה הייתה אקראית, וגם לה אין כל משמעות או השפעה על התוצאות. כל הקבוצות ביצעו את כל סוגי המאמצים, ומיד אחרי כל מאמץ או מנוחה מילאו את מבדק ריבן המקוצר. על פי תוצאות המחקר, הישגי הסטודנטים במבדק ריבן המקוצר לאחר פעילות גופנית עצימה היו נמוכים באופן מובהק ($p < 0.05$) מהישגיהם לאחר מנוחה. אולם תוצאות המחקר לא מצאו השפעה מובהקת של פעילות גופנית מתונה על תוצאות מבדק ריבן.

לבן ואתנייר (2011) מצאו שסטודנטים שעסקו בפעילות מתונה חזרו בעל פה ביתר הצלחה על קטע שהוקרא להם אחרי הפעילות. סיבלי, אתנייר ולה-מסוריר (2006) הראו שסטודנטים שעסקו בפעילות מתונה שיפרו את הישגיהם במבדק "Stroop color word interference". הוגן, מטה וקרסטנסן (2013) מצאו שלפעילות גופנית מתונה הייתה השפעה חיובית על זמן התגובה במבדק 2-back. לעומתם, מחקרים שבדקו השפעת פעילות גופנית עצימה, מצאו שהייתה לה השפעה שלילית על יכולת קוגניטיבית (Del Giorno, Hall, O'Leary, Bixby, & Miller, 2010; Draper et al., 2010; McMorris, Collard, Corbett, Dicks, & Swain, 2008). השערות מחקר אלו תואמות גם את הבסיס התיאורטי על פי המודל הקוגניטיבי-אנרגטי של סנדרס, שמנבא כי למאמץ הגופני השפעה בצורת U הפוכה, וכי השפעת מאמץ גופני מתונה תהיה מיטיבה לעומת השפעה של מאמץ קל או עצים (McMorris et al., 2011).

את חוסר ההלימה בדבר ההשפעה החיובית של פעילות גופנית בעצמות מתונה, שנתמכת גם על ידי המחקרים שנסקרו, לבין התוצאות בפועל של המחקר הנוכחי, אפשר להסביר באמצעות המורכבות של היכולת הקוגניטיבית האנושית ובאמצעות העובדה שהיא כוללת יכולות ספציפיות שונות. מחקר שבחן את השפעת הפעילות הגופנית המתונה באמצעות שמונה מבדקים קוגניטיביים הבוחנים היבטים שונים של היכולת הקוגניטיבית אומנם מצא שהישגי הנבחנים השתפרו לאחר הפעילות בשבעה משמונה מבדקים, אך רק בארבעה מהם באופן מובהק (Nanda, Balde, & Manjunatham, 2013). הסבר נוסף לחוסר ההתאמה בין השערת המחקר לבין תוצאותיו הוא שמחקרים שבחרו במהירות עיבוד כמשתנה התלוי הניבו תוצאות שונות משמעותית מאלו שבחרו בדיוק כמשתנה התלוי. במחקרים שבהם נבדק הדיוק, נראה שהשפעת הפעילות הגופנית המתונה הייתה קטנה או אפסית (McMorris, 2016). במחקר זה

נבדק רק דיוק התוצאות של מבדק רייבן המקוצר – הווה אומר, מספר התשובות הנכונות. למחקר הנוכחי יש כמה מגבלות שיש לתת עליהן את הדעת בבואנו להסיק מסקנות. ראשית, אוכלוסיית המדגם נבחרה מתוך סטודנטים של תואר ראשון בחינוך גופני. אפשר לשער שללומדים במוסד להשכלה גבוהה לחינוך גופני יש רקע השכלתי וגופני שלא דווקא מייצג את כלל האוכלוסייה, ולכן מקשה על הכללת מסקנות המחקר באשר לאוכלוסייה הכללית. שנית, כדי להגיע לתוצאות יעילות, מדויקות ומובהקות יותר, יש להגדיל את מדגם המשתתפים. ייתכן כי המתאמים שנמצאו במחקר זה כלא מובהקים יימצאו כמובהקים במדגם גדול יותר. נוסף על כך, מדידת המאמץ נעשתה אומנם על בסיס מדדים אישיים (דופק במנוחה) ונמדדה במכשירים ייעודיים, אך מסיבות פרקטיות נעשתה עצמאית על ידי הנבדקים. לא מן הנמנע שאירעו אי

דיוקים במהלך מדידת המאמץ.

מן המחקר עולה כי פעילות גופנית ברמת מאמץ עצימה משפיעה באופן שלילי על ההישגים במבדק רייבן שבוחן קוגניציה פלואידית – היכולת להסיק מסקנות ולפתור בעיות באמצעות זיהוי תבניות ויחסים בין פריטים.

השלכות המחקר

יש להביא בחשבון את תוצאותיו של מחקר זה בעת עריכת תוכניות לימודים על ידי הגופים האחראים לכך. מצד אחד יש, על פי המחקר, להימנע מביצוע פעילות גופנית עצימה לפני מטלות קוגניטיביות מאתגרות; מהצד האחר אין מניעה לשלב במערכת הלימודים שיעורי חינוך גופני שבהם הפעילות נערכת ברמת עצימות מתונה. לאור היתרונות הבריאותיים הברורים של פעילות גופנית אקוטית וכרונית, הרי שבזכות מחקר זה ניתן יהיה לשלב את שיעורי הפעילות הגופנית בצורה מודעת על מנת למקסם את הפעילות הקוגניטיבית של התלמידים. מחקר המשך יבחן אוכלוסייה הטרוגנית ובאמצעות מדגמים גדולים יותר. כמו כן יש מקום לבצע הערכה של מהירות תגובה נוסף על דיוק התשובה לאור ההבדלים, על פי הספרות, בממצאים בשני רבדים אלו.

מקורות

- מקל, י' (2005). כושר גופני: רקע פיזיולוגי, שיטות אימון ודרכים לפיתוח הכושר הגופני (מהד' א.). ח"מ.
- נייס, ש' (2003). הפיזיולוגיה של המאמץ: היבטים תיאורטיים ויישומם בתחומי הכושר, הביצוע הגופני והשמירה על הבריאות. (מהד' א.). רמת-גן: פוקוס.
- פנחס, י', ומויאל, א' (2004). השפעת העצימות של הפעילות הגופנית על רמת הקשב של התלמידים – ילדים ומתבגרים, בשעות שונות של היום. החינוך וסביבו, שנתון סמינר הקיבוצים, כ"ו, 219-232.
- קניאל, ש' (2001). הפסיכולוגיה של השליטה על התודעה. רמת גן: אוניברסיטת בר-אילן.
- קניץ, מ' (2004). כושר וגוף. תל-אביב: מנטור.
- Alves, C. R., Tessaro, V. H., Teixeira, L. A. C., Murakava, K., Roschel, H., Gualano, B., & Takito, M. Y. (2014). Influence of acute high-intensity aerobic interval exercise bout on selective attention and short-term memory tasks. *Perceptual and Motor Skills*, 118(1), 63-72. <https://doi.org/10.2466/22.06.PMS.118k10w4>
- Anderson, J. R. (2005). *Cognitive psychology and its implications* (6th ed). New York: Worth Publishers.
- Anderson, R. M. (1994). *Practitioner's guide to clinical neuropsychology*. Boston, MA: Springer US. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-2480-9>
- Bates, M., & Lemay, E. (2004). The d2 test of attention: Construct validity and extensions in scoring techniques. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 10(3), 392-400.
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2007). *Neuroscience: Exploring the brain* (3rd ed). Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Berg, K. (2010). Justifying physical education based on neuroscience evidence. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 81(3), 24-29, 46.

- Bilker, W. B., Hansen, J. A., Brensinger, C. M., Richard, J., Gur, R. E., & Gur, R. C. (2012). Development of abbreviated nine-item forms of the Raven's Standard Progressive Matrices Test. *Assessment*, 19(3), 354-369. <https://doi.org/10.1177/1073191112446655>
- Bouchard, C., Blair, S. N., & Haskell, W. L. (Eds.). (2007). *Physical activity and health*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Byun, K., Hyodo, K., Suwabe, K., Ochi, G., Sakairi, Y., Kato, M., Dan, I., Soya, H. (2014). Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: An fNIRS study. *NeuroImage*, 98, 336. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.04.067>
- Cognitive function (2002). McGraw-Hill concise dictionary of modern medicine. McGraw-Hill. Retrieved from <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/cognitive+function>
- Cui, X., Bray, S., Bryant, D. M., Glover, G. H., & Reiss, A. L. (2011). A quantitative comparison of NIRS and fMRI across multiple cognitive tasks. *NeuroImage*, 54(4), 2808-2821. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.10.069>
- Del Giorno, J. M., Hall, E. E., O'Leary, K. C., Bixby, W. R., & Miller, P. C. (2010). Cognitive function during acute exercise: A test of the transient hypofrontality theory. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 32(3), 312. <https://doi.org/10.1123/jsep.32.3.312>
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Domino, G., & Domino, M. L. (2006). *Psychological Testing: An Introduction*. Cambridge University Press. Retrieved from <https://books.google.co.il/books?id=OiKau0aqtsYC>
- Draper, S., McMorris, T., & Parker, J. K. (2010). Effect of acute exercise of differing intensities on simple and choice reaction and movement times. *Psychology of Sport and Exercise*, 11(6), 536-541. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2010.05.003>
- Eckardt, B. V. (1995). *What is Cognitive Science?* MIT Press.
- Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2009). Aerobic exercise effects on cognitive and neural plasticity in older adults. *British Journal of Sports Medicine*, 43(1), 22-24. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.052498>
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 16(1), 143-149. <https://doi.org/10.3758/BF03203267>

- Henry, R., Anshel, M., & Michael, T. (2006). Effects of aerobic and circuit training on fitness and body image among women. *Journal of Sport Behavior*, 29(4), 281-303.
- Hogan, C. L., Mata, J., & Carstensen, L. L. (2013). Exercise holds immediate benefits for affect and cognition in younger and older adults. *Psychology and Aging*, 28(2), 587-594. <https://doi.org/10.1037/a0032634>
- Jensen, A. R. (1980). *Bias in mental testing*. New York: Free Press.
- Jerstad, S. J., Boutelle, K. N., Ness, K. K., & Stice, E. (2010). Prospective reciprocal relations between physical activity and depression in female adolescents. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 78(2), 268-272. <https://doi.org/10.1037/a0018793>
- Kamijo, K., Hayashi, Y., Sakai, T., Yahiro, T., Tanaka, K., & Nishihira, Y. (2009). Acute effects of aerobic exercise on cognitive function in older adults, 64(3), 356. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbp030>
- Kashihara, K., Maruyama, T., Murota, M., & Nakahara, Y. (2009). Positive effects of acute and moderate physical exercise on cognitive function. *Journal of Physiological Anthropology*, 28(4), 155-164.
- Labban, J. (2012). *The effect of acute exercise on the formation of long-term memory (Doctoral dissertation)*. Retrieved from https://libres.uncg.edu/ir/uncg/f/Labban_uncg_0154D_11022.pdf
- Labban, J., & Etnier, J. (2011). Effects of acute exercise on long-term memory. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 82(4), 712-721.
- Loprinzi, P. D., & Kane, C. J. (2015). Exercise and cognitive function: a randomized controlled trial examining acute exercise and free-living physical activity and sedentary effects. *Mayo Clinic Proceedings*, 90(4), 450. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2014.12.023>
- McMorris, T. (2016). History of research into the acute exercise-cognition interaction. In T. McMorris (Ed.) *Exercise-cognition interaction: Neuroscience perspectives*. Amsterdam: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800778-5.00001-3>
- McMorris, T., Collard, K., Corbett, J., Dicks, M., & Swain, J. P. (2008). A test of the catecholamines hypothesis for an acute exercise-cognition interaction. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 89(1), 106-115. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2007.11.007>
- McMorris, T., Sproule, J., Turner, A., & Hale, B. J. (2011). Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: A meta-analytical comparison of effects. *Physiology & Behavior*, 102(3-4), 421-428. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2010.12.007>

- Nanda, B., Balde, J., & Manjunatham, S. (2013). The acute effects of a single bout of moderate-intensity aerobic exercise on cognitive functions in healthy adult males. *Journal of Clinical & Diagnostic Research*, 7(9), 1883-1885.
- Neisser, U. (2014). *Cognitive psychology*. New York, NY: Psychology Press
- Netz, Y., Tomer, R., Axelrad, S., Argov, E., & Inbar, O. (2007). The effect of a single aerobic training session on cognitive flexibility in late middle-aged adults. *International Journal of Sports Medicine*, 28(1), 82-87. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924027>
- Physical Activity Guidelines Advisory Committee. (2008). *Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report, 2008*. Washington, DC: U.S. Department of Health and Human Services. Retrieved from <http://health.gov/paguidelines/report/pdf/committeereport.pdf>
- Raven, J. (2000). The Raven's Progressive Matrices: Change and stability over culture and time. *Cognitive Psychology*, 41(1), 1-48.
- Reiner, M., Niermann, C., Jekauc, D., & Woll, A. (2013). Long-term health benefits of physical activity—A systematic review of longitudinal studies. *BMC Public Health*, 13(1). Retrieved from <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-813>
- Revlín, R. (2013). *Cognition: theory and practice*. New York, NY: Worth Publishers.
- Shephard, R. J. (1994). *Aerobic fitness & health*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
- Sibley, B. A., Etnier, J. L., & Le Masurier, G. C. (2006). Effects of an acute bout of exercise on cognitive aspects of Stroop Performance. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 28(3), 285-299.
- Smith, P., Blumenthal, J., Hoffman, B., Cooper, H., Strauman, T., Welsh-Bohmer, K., Browndyke, J. N., Sherwood, A. (2010). Aerobic exercise and neurocognitive performance: A meta-analytic review of randomized controlled trials. *Psychosomatic Medicine*, 72(3), 239.
- Tomprowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica*, 112(3), 297.
- Tomprowski, P. D., & Ellis, N. R. (1986). Effects of exercise on cognitive processes: A review. *Psychological Bulletin*, 99(3), 338-346. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.99.3.338>
- Tsiantoula E., Tsiadoula L., Patsiaouras A., & Kokaridas D. (2012). Physical activity & depression. *Interscientific Health Care*, 4(3), 83-90.