

# השפעת השימוש באשליית אבינגהאוס על דיוק בזריקת כדורים למטרה בקרב שחקני בוצ'יה עם שיתוק מוחין:

## סדרת תיאורי מקרה

ענבל חג'בי

המרכז האקדמי לוינסקי-וינגייט

### תקציר

בוצ'יה הוא ענף ספורט פראלימפי תחרותי המיועד לאנשים עם מוגבלות פיזית קשה. ספורטאים בענף זה מנסים לזרוק כדורים צבעוניים כמה שיותר קרוב לכדור מטרה לבן המכונה "ג'יק". המשחק דורש ריכוז רב, שליטה מוטורית ודיוק. מטרת המחקר היא לבדוק כיצד ניתן לשפר את רמת הדיוק בזריקות בקרב שחקני בוצ'יה. המחקר התבסס על אשליית אבינגהאוס, אשליה אופטית הגורמת לעיגול מרכזי להיראות גדול או קטן יותר באמצעות מעגלים סובבים. החוקרים הניחו שאשליה זו תשפיע על הביצועים המוטוריים. במחקר השתתפו חמישה שחקני בוצ'יה (שלושה שחקנים ושתי שחקניות BC1-4), הגיל הממוצע היה  $10.3 \pm 36$  שנים (טווח 18-48 שנים). כל אחד מהם ביצע 60 זריקות בשלושה מצבים שונים: (א) ללא שימוש באשליה; (ב) עם שימוש באשליה – עם מעגלים קטנים מסביב למטרה; ו-(ג) עם שימוש באשליה – עם מעגלים גדולים מסביב למטרה. הממצאים הם אלה: (1) אשליית אבינגהאוס שיפרה את דיוק הזריקה בקרב רוב הנבדקים, ובמיוחד כאשר נעשה בה שימוש עם מעגלים גדולים סביב המטרה. ההשערה היא שהמעגלים הגדולים גורמים למטרה להיתפס כקטנה יותר ולכן הריכוז מתגבר והדיוק מתחדד; (2) לאחר 20 הזריקות הראשונות נצפתה ירידה בדיוק הביצועים אצל כל הנבדקים המצביעה על חשיבותן של אסטרטגיות אימון מותאמות, כמו אימון מרווח עם מספיק זמן מנוחה. המסקנות הן שניתן להציע למאמנים ולפיזיותרפיסטים כלים חדשים באמצעות השיטה שתוארה במחקר זה, שיכולים לסייע בשיפור ביצועי שחקני בוצ'יה. דרושים מחקרים נוספים עם מספר רב יותר של נבדקים כדי לאשש את המסקנות ולבחון את השפעת האשליה לאורך זמן. כמו כן יש צורך למצוא דרכים להפחית את העייפות במהלך זריקות ממושכות.

**תאריכים:** משחק בוצ'יה, שיתוק מוחין, דיוק, עייפות, למידה מוטורית, אשליית אבינגהאוס

שיתוק מוחין (Cerebral Palsy – CP) מבטא קבוצה של הפרעות נוירו- התפתחותיות המופיעות בגיל הרך. הפרעות אלו קבועות ונגרמות מפגיעה לא- פרוגרסיבית באתרים בודדים או מרובים הנראית בסריקות של המוח. הפגיעה בתפקוד המוטורי מתבטאת על פני רצף החל בפגיעה בגף אחד (מונופלגיה) ועד לפגיעה קשה בארבעת הגפיים ובגו (קוואדריפלגיה). הביטוי של הפגיעה בתפקוד העצבי- שרירי קשור למנגנוני הגירוי והעיכוב של הממשק עצב-שריר. בתבנית ספסטית (ספסטיות היא עלייה בטונוס המתבטאת בהתכווצות יתר של שרירי הגוף, והיא מופיעה בעקבות פגיעות עצביות) ישנו גירוי יתר של סיבי השריר (כ-70% מהנפגעים ב-CP), בתבנית פלסידית או היפוטונית יש גירוי חסר של סיבי השריר (כ-5% מהנפגעים ב-CP), בתבנית אתטואידית יש גירוי משתנה של סיבי השריר (כ-5%), ובתבנית אטקסית יש פגיעה בתפקוד המוח הקטן וכתוצאה מכך פגיעה בקואורדינציה הבין-שרירית הקשורה בתנועה רצונית (Fong et al., 2012). טווח הפגיעה בתפקוד המוטורי גדול מאוד ונע מפגיעה קלה בניידות, שכמעט איננה נצפית לעין, ועד לפגיעה מוחלטת בניידות וביציבות עצמית המחייבת שימוש בכיסא גלגלים חשמלי (Oskouei et al., 2013). זאת ועוד, אנשים עם CP מדגימים לקויות שונות בטווח חומרה מקלה לקשה בתפקודים חזותיים, שמיעתיים, מילוליים ובעיבוד החושי (Olney & Wright, 2000), והן כוללות קשיים בתכנון תנועה (אשר דורש משאבים קואורדינטיביים גבוהים), בעיות קשב וריכוז, ויסות חושי לקוי (למשל, קשיים בעיבוד מידע ויזואלי, שמיעתי או פרופריוצפטיבי) והפרעה בקואורדינציה הבין-שרירית. ליקויים אלה, אשר אינם נפרדים מהקושי הפיזי בביצוע התנועה, יוצרים אתגר כפול: הם מקשים הן על ההוצאה לפועל הפיזית של הפעולה המוטורית והן על שלבי התכנון והלמידה המקדימים אותה. מורכבות זו מדגישה את הצורך הקריטי באסטרטגיות למידה מוטורית מותאמות ויעילות, שיתייחסו לא רק לכוח השריר או לטווחי התנועה, אלא גם לדרך שבה המוח מעבד מידע ומתכנן תנועה חדשה. קיימת פגיעה בתכנון התנועות, ולכן נדרשים משאבים קואורדינטיביים כדי להתגבר על הספסטיות ועל שאר ההגבלות הקואורדינטיביות (Steenbergen & Gordon, 2006).

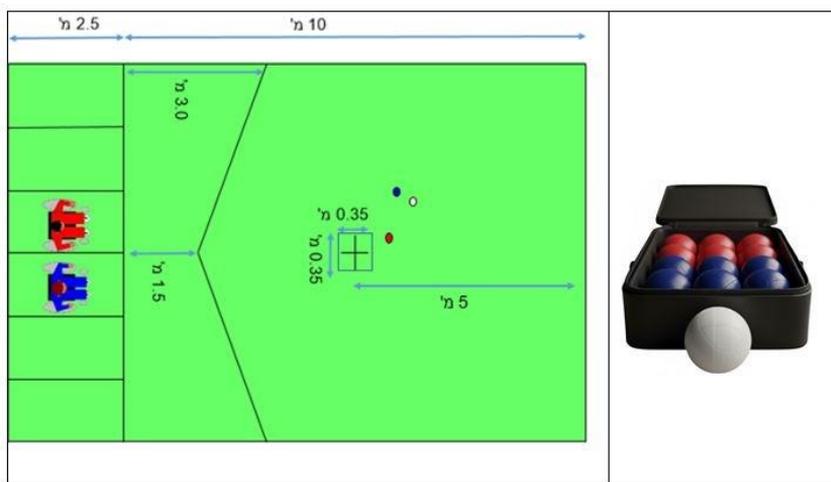
### משחק בוצ'יה

בוצ'יה הוא משחק אסטרטגי הדורש תיאום גבוה ושליטה על התנועה כדי להשיג דיוק. בוצ'יה מיועד לאנשים עם ליקוי נוירולוגי קבוע וחמור (למשל CP, שיתוק מוחין) ולאנשים עם ליקויים אחרים המשפיעים על כל ארבעת הגפיים. המשחק יועד בתחילה לנפגעים עם שיתוק מוחין, אך בחלוף השנים התרחב גם לשיתוף אנשים עם לקויות אחרות שאינן CP, כגון ניוון שרירים, פוליו, פגיעות ראש, עמוד שדרה ועוד. בוצ'יה הוא ענף פראלימפי משנת 1984 שבו הגברים והנשים מתחרים יחדיו. ישנן מספר קטגוריות משחק: יחידים, זוגות וקבוצתי (Reina et al., 2018). שחקני בוצ'יה משתתפים במספר קטגוריות סיווג כמפורט להלן: 1BC - ספורטאים עם CP, אשר הלקות אצלם מתבטאת בכל ארבעת הגפיים ומשפיעה על אחיזת הכדור, ולכן ניתנת להם האפשרות גם לבעוט בכדור, וכמו כן הם רשאים לליווי עוזר בהגשת הכדורים. 2BC - ספורטאים עם CP, אשר הלקות אצלם מתבטאת בכל ארבעת הגפיים אך עם פגיעה קלה יותר מ-1BC, שמאפשרת להם טווח תנועה תפקודי סביר המשפיע באופן חיובי על אחיזת הכדור ומנח הגוף בעת הזריקה.

כיוון שכך, לא ניתנת להם האפשרות לבעוט בכדור, והם אינם רשאים לליווי עוזר בהגשת הכדורים. 3BC – ספורטאים עם לקות משמעותית ביותר בכל ארבעת הגפיים (טווח תנועה מוגבל ביותר), שאין להם אפשרות של אחיזה או בעיטה של הכדור ואינם יכולים לבצע זריקה עקבית שלו – ספורטאים אלה רשאים לליווי עוזר במגרש. לצורך שחרור הכדור הם נעזרים במשטח מוגבה שהמלווה העוזר מתפעל בהנחייתם. 4BC – ספורטאים עם פגיעות גופניות שונות שאינן CP, עם פגיעה מוטורית קשה בכל הגפיים, אשר מתאפיינת בחולשת שרירים משמעותית, עם שליטה נמוכה ביותר בשרירי הליבה, הגב והידיים. הם יכולים לאחוז את הכדור, אך אינם יכולים לבעוט בו ואינם רשאים לליווי עוזר במגרש להגשת והנגשת הכדורים (Cerebral Palsy International Sport and Recreation Association, 2010). השחקנים משחקים בכדורים אדומים או כחולים. זכות הזריקה נקבעת בהטלת מטבע. הזורק הראשון הוא בעל הכדורים האדומים (ראו המגרש באיור 1), והוא יזרוק את כדור המטרה הלבן ("ה'גיק'") ולאחר מכן את הכדור שברשותו. היריב זורק את הכדור הבא, השחקן שיזרוק הבא בתור הוא השחקן שהכדור שלו רחוק יותר מהכדור הלבן. לאחר שנזרקו ששת הכדורים יכריז השופט על התוצאה. השחקנים משתמשים בכדורים בצמיגות משתנה מרך לקשה יחסית וזאת על מנת לגרום לגלגול רב או מופחת של הכדור על רצפת משטח המשחק לאחר הזריקה. השחקן שכדורו הקרוב ביותר לכדור הלבן זוכה בנקודה עבור כל כדור שקרוב יותר מהכדור של יריבו.

## איור 1.

ערכת הכדורים לבוצייה וסרטוט קווי המגרש



המשחק דורש יכולת טכנית, דיוק, תכנון אסטרטגי וקשיחות מנטלית. יתר על כן, למשחק בוצייה נדרשים רכיבי כושר כגון כוח הגוף העליון, יציבות דינמית, מודעות תפיסתית-מוטורית ותיאום ויזואלי-מוטורי, אשר חשובים לא רק עבור ספורט אלא גם לתפקוד יום-יומי. טכניקת הזריקה הספציפית במשחק בוצייה היא ייחודית לכל שחקן בשל יכולותיו ומגבלותיו הספציפיות (Barak et al., 2016). למרות קרוב ל-40 שנות היסטוריה של משחק הבוצייה, עד היום מעט מחקרים דיווחו על

ראיות מדעיות הקשורות לספורטאי בוצייה. רובם מתמקדים בהיבטים טכניים, ביו-מכניים ובלמידה של הזריקה (Chang et al., 2005; Dickson et al., 2011; Reina et al., 2018). במחקרים שהתפרסמו עד כה דווח כי משתתפים עם ספסטיות מעדיפים זריקה תחתית (לעומת זריקה עילית) (Avila & Moreno, 2000). נוסף על כך מצאו רומרו ואחי' (Romero et al., 2010), כי ההבדל המשמעותי היחיד שנמצא בין הסיווגים BC1 ו-BC2 היה העיכוב האלקטרומכני (מסרים חשמליים של השריר), שהיה גדול יותר ב-BC1 כשבדקו זאת במדגם של שחקני נבחרת ספרדית.

### זריקת כדורים לדיוק במשחק הבוצייה

לצורך משחק הבוצייה המשתתף נדרש לתיאום של הגפיים, למחשבה אסטרטגית, לעבודת צוות, לשליטה רגשית ולרמת דיוק גבוהה. לשחקני בוצייה יש בדרך כלל קושי בקואורדינציה הבין-שרירית ותוך-שרירית וקשיים בשליטה במתח השרירי (מספר סיבי השריר המגורים לפעולה), ולכן גם קשיי תנועה, לכן הם פחות עקביים בתנועותיהם (Sanger, 2006). שליטה ידנית היא אתגר משמעותי לאנשים עם CP, והיא מושפעת ממשתנים פנימיים (למשל, כוח השריר וטווח התנועה במפרק והיציבות במנח הביצוע) וחיצוניים (למשל, משקל הכדור הנזרק) (Braendvik et al., 2009). ריינה ואחי' (Reina et al., 2018) הדגישו כי הדיוק הוא אחד מגורמי הביצועים המרכזיים בבוצייה. המטרה של ספורט זה היא להציב את כדורי המשחק קרובים ככל האפשר לכדור המטרה. זריקה מדויקת דורשת שליטה מוטורית טובה ותיאום של הגפיים העליונים – יכולות המהוות אתגר עבור שחקנים עם אטקסיה, קוואדריפלגיה, אתטוזיס או ספסטיות נמוכה (Athetosis quadriplegic, ataxia) או hypertonia). הואנג ואחי' (Huang et al., 2014) ציינו כי שחקן בוצייה נדרש לזרוק את הכדורים ברמת דיוק גבוהה הכרוכה בשליטה במפרקי המרפק והכתף, כמו כן גם בכף היד ובאצבעות עבור אחיזת הכדור ושחרורו. הדיוק בזריקה הוא פועל יוצא של תנועת שחרור של היד שמשפיעה על נקודת הנחיתה, על המסלול שהכדור עובר ועל מהירות גלגול הכדור. במהלך המשחק השחקנים נדרשים לייצב את הגוף, לשלוט בגפי הגוף ולתאם עין-יד. הם נדרשים גם להתרכז ולהתמקד באסטרטגיות שונות כדי לחסום מראש את טווח הגלגול של כדורי היריב. בוצייה היא אפוא משחק הדורש רמת דיוק גבוהה במיוחד (van Thiel et al., 2000). בנוסף, ואן תייל ואחי' (van Thiel et al., 2000) מצאו שמשך התנועה תחת דרישות קפדניות של דיוק היו קשורות עם מידת הספסטיות. כך שמשך תנועה ארוך יותר עלול להתרחש בגלל קבוצת שרירים חלשה, וכתוצאה מכך שחקנים עם CP יכולים להיות עייפים יותר בפלג גופם העליון שבעיקר עליו מוטל עומס הפעילות (Reid et al., 2010).

לנוכח החשיבות הרבה של הדיוק במשחק הבוצייה בדקו ריינה ואחי' (Reina et al., 2018) את השתנות הביצועים במהלך ביצוע חוזר של משימת הדיוק המרכזית – זריקת הכדור והצבתו קרוב ככל האפשר "ליגיק" (Urbán et al., 2015). כדי להבין את המקור להשתנות זו ולחוסר היציבות בדיוק, מצא המחקר כי שחקנים עם CP מציגים מגבלות פיזיולוגיות חמורות הקשורות לספסטיות שרירית באגוניסט, בסינרגיסט ובאנטגוניסט. כמו כן נמצא כי טווח התנועה של הגפיים העליונים הוא גורם מגביל לתנועת הגוף וכף היד, והוא המשתנה העיקרי המשפיע על חוסר העקביות בזריקה. לדוגמה, נמצא בקרב שחקני בוצייה עם יתר ספסטיות עיכוב בהגדלת זווית המרפק במהלך פעולת השלכת הכדור, שהוביל להצלחה פחותה יותר בזריקה. מן

הראוי לציין שפעולת הזריקה, שחוזרת ונשנית פעמים רבות, עלולה להיות פעילות מתישה עבור אנשים עם לקויות גופניות חמורות ולגרום לרמות של עייפות, המשפיעות על מידת הדיוק ועל מהירות הזריקה במהלך המשחק (Huang et al., 2014). לי ואח' (Lee et al., 2002) בדקו את ההבדלים בין מהירות הזריקה ודיוקה למרחקים שונים: מרחק קצר של 5 מ' ומרחק רחוק של 9 מ'. הם מצאו קשר שלילי, ככל שהמרחק עולה, בין מהירות הזריקה לדיוקה. מידת הספסטייות יכולה להסביר את הממצא הזה. חשוב לזכור כי ספסטייות מושפעת מאוד ממהירות התנועה, כלומר, ככל שהשחקנים צריכים לכסות מרחק גדול יותר, הם יידרו לזרוק את הכדור במהירות גבוהה יותר, ולכן מכניקת הזריקה תהיה מושפעת יותר מהספסטייות שלהם. במחקרם של הואנג ואח' (Huang et al., 2014) ביקשו להשוות בין כוח הידיים, תנועות הידיים ומהירות התנועה בזמן הזריקה בין ילדים עם שיתוק מוחין לילדים עם התפתחות טיפוסית. נמצא כי דיוק זריקת הכדורים יחסית לכדור הגיק אצל ילדים עם התפתחות טיפוסית עלה באופן ניכר על זה של ילדים עם CP. עוד נמצא כי דרישות קפדניות לדיוק מביאות את הילדים עם CP להאריך את משך התנועה בהשוואה לילדים עם התפתחות טיפוסית (Chang et al., 2005; Chen & Yang, 2007; Ronnqvist & Rosblad, 2007; van Thiel et al., 2000).

#### **עייפות במשחק בוצ'יה**

עייפות שרירים מתבטאת בירידה זמנית ביכולת לבצע פעולות פיזיות (Enoka & Duchateau, 2008). זוהי שרשרת של שינויים מטבוליים, מבניים ואנרגטיים בשרירים עקב החמצון ושימוש בחומרים תזונתיים שסופקו דרך זרימת הדם, וכן בעקבות שינויים ברמת היעילות של מערכת העצבים (Cifrek et al., 2009). שינויים ביוכימיים ופיזיולוגיים בשריר במהלך התכווצויות מעייפות באים לידי ביטוי גם במאפיינים של פעילות חשמלית של השריר המעורב (De Luca, 1984). מכיוון שעייפות שרירים עלולה להוביל לביצועים תפקודיים לקויים בחלק האחרון של המשחק, ביקשו פונג ואח' (Fong et al., 2012) לבחון את דפוס העייפות של ספורטאי בוצ'יה בהונג קונג (כתשעה שחקנים) ואת השפעתו על ביצועיהם במשחק. נמצא כי ככל שפעילות הגפיים העליונים נמשכת זמן רב יותר, עייפות השרירים היא אחת התלוונות השכיחות של השחקנים במהלך המשחק. עוד נמצא כי שריר הטרפז העליון הראה עייפות שריר מקומית שביטויה היה ירידה משמעותית באקטיבציה שרירית בעת השוואת הזריקות הראשונות והאחרונות במשחק ההדמיה. עייפות שריר נמצאה בקורלציה עם ירידה משמעותית במהירות הכדור המרבית. לשריר זה תפקידים רבים כגון סיבוב הסקפולה, סיבוב עצם השכם מעלה; הוא מספק בסיס יציב של תמיכה עבור ראש humeral, מגדיל טווח העלאת גפיים עליונים של התנועה ושומר מתח אורך שריר דלתא במגוון פונקציונלי (Szues et al., 2009). לכן, במחקר זה ננסה להצביע על השלב שבו מופיעה ירידה בדיוק הביצועי, וזאת כדי לתרום להפחתת ביצועי עייפות בשחקני בוצ'יה.

#### **למידה מוטורית בשיתוק מוחין**

למידה מוטורית היא תהליך פנימי של שינוי משתמר בדפוסי התנהגות מוטורית המאפשר רכישת מיומנויות שמתרחשת כתוצאה מאימון, מתרגול או מצפייה. הגורם לשינוי הוא הלמידה, והיא יכולה לכלול משוב (חיובי או שלילי), קשב (חיצוני או פנימי), סוגי אימונים שונים (סדרתי, מגוון, אקראי) וכיוצא באלה (Karni & Bertini, 1997). רכישת מיומנויות מוטוריות חדשות – הן יום-יומיות הן

ספורטיביות – קשה מאוד לאנשים עם שיתוק מוחין בגין הגירוי העצבי שרירי המוגבר (ספסטיות), המופחת (היפוטוניה) או הבלתי סדיר (אטתוזיס) שמאפיין את מרבית האנשים עם לקות זו (Gowen & Hamilton, 2013). המידע הספציפי על רכישת מיומנויות באנשים עם CP בכלל ובספורטאים עם CP בפרט, לוקה בחסר. זאת לעומת היקף רחב של מחקר הנערך בקרב אוכלוסייה ללא מגבלה בסוגיה הנוגעת לאופן שבו רכישת מיומנות מוטורית ופיתוחה מושפעים מתנאי הביצוע, כלומר: איך תרגול צריך להיות מובנה מבחינת מאפייני המטלה כדי לגרום לשיפור הגדול והיעיל ביותר בתהליך רכישת המיומנות. כאמור, יש מעט מידע על כך הנוגע לאנשים עם CP. באופן כללי מקובל להניח כי התוצר הכולל של התרגול הוא הגורם החשוב ביותר שיש להביא בחשבון (Hynes-Dusel, 2002; Magill & Hall, 1990). זאת ועוד, חוקרים מסכימים שתרגול מגוון (כולל תרגול של וריאציות רבות של המיומנות בתנאים שונים) משפר את הביצועים במהלך התרגול ודווקא תרגול אקראי (שיטה ליישום תרגול מגוון, שבה הווריאציות השונות מבוצעות בסדר מעורב) הראה תוצאות טובות יותר במבחני שחזור בהשוואה לאימון סדרתי (תרגול של מטלה אחת בודדת ברצף ארוך) (Hanlon, 1996; Schmidt & Lee, 2013). מוריס ויטמאנובה (Morris & Wittemannová, 2010) בחנו אם הממצאים התקפים באוכלוסייה ללא מגבלה באשר לתרגול מיומנויות מוטוריות יהיו תקפים גם בקרב ספורטאים עם CP. הם מצאו עלייה גדולה יותר בביצועים של מיומנויות בוצייה בקרב ספורטאי האימונים הסדרתיים לעומת ספורטאים המשתתפים באימונים אקראיים. מטרת המחקר של ריינה ואחי' (Reina et al., 2018) הייתה למדוד אם קיים הבדל ממשי, אם בכלל, בין אימון סדרתי לאימון אקראי לפני ואחרי תוכניות ההתערבות ביחס לביצועים של מיומנויות בוצייה. הם מצאו כי אימון אקראי מועיל יותר לשיפור וללמידה מאשר אימון סדרתי. הממצאים הללו אינם עולים בקנה אחד עם אלה של ג'ופרידה ואחי' (Giuffrida et al., 2002) שהראה כי אימון סדרתי היה מועיל ביותר כאשר שוב ושוב מתרגלים משימה חדגונית. ממצאים אלו מחזקים את הרעיון כי אנשים עם ליקויים נוירולוגיים ספציפיים ועם נכויות, במקרה זה CP, דורשים אימון סדרתי כדי ללמוד בצורה יעילה יותר, כיוון שהם אינם מסוגלים לעבד יותר מדי מידע בבת אחת (Lin et al., 2007). ניתן לראות גם ממחקרים קודמים, כי אימון סדרתי מספק תוצאות למידה טובות יותר, במיוחד במהלך שלב רכישת המיומנות (Magill & Hall, 1990, Hynes-Dusel., 2002). גם כדי לשפר את סגנון הטכניקה מומלץ לבצע אימון סדרתי, כמו שהוסיפו שמידט ולי (Schmidt & Lee, 2013) – כך הלומד המתחיל יכול להשיג שיפור במיומנות עצמה לפני שהוא נאלץ ליישם זאת במצב מאתגר יותר כמו משחק. מנקודת מבט של אימון, דמיאנו ואחי' (Damiano et al., 2017) מדגישים כי אנשים עם CP נוטים להציג יכולת למידה נמוכה יותר מאנשים ללא מוגבלות עקב שינויים במערכת התפיסה שלהם. מצד שני, אנשים עם CP נוטים להבין היטב את המרכיבים המפורשים של למידה מוטורית (כלומר, תהליך התכנון) באמצעות הוראות ומשוב.

### **אשליית אבינגהאוס (Ebbinghaus Illusion)**

אשליית אבינגהאוס היא אשליה אופטית שבה אנו מתעתעים את המוח וגורמים לו לראות משהו בצורה שגויה, או לזהות דבר מה שאינו קיים במציאות (Roberts et al., 2005). בניסוי זה נגרום לעיגול להיראות גדול או קטן יותר בגלל

שינוי בסביבה שבה הוא נמצא (ראו איור 2). המוח שמשווה את גודל האובייקט לחפצים אחרים מושפע ממראה העיגולים שבסביבתו. כשהעיגול המרכזי מוקף בעיגולים קטנים, וככל שהעיגולים קרובים יותר לעיגול המרכזי – כך נראה לנו שהעיגול המרכזי גדול יותר. כיוון שעיגולים קטנים קרובים יותר לעיגול המרכזי יותר מהעיגולים הגדולים, מתעצמת האשליה האופטית שהעיגול המרכזי גדול יותר.

## איור 2.

תיאור טיפסי של אשליית אבינגהאוס



מספר מחקרים בחנו את השפעתה של אשליית אבינגהאוס על לימוד ביצוע מוטורי של דיוק למטרה בחבטת גולף. הם קבעו כי מניפולציה פשוטה יכולה להשפיע על תפיסתה המרחבית של המשימה ועל ציפיות הביצוע במהלך התכנון המוטורי (Bahmani et al., 2017; Chauvel et al., 2015; De Fockert et al., 2007; Marchant et al., 2018). חוקרים רבים שבדקו את האשליה בגולף מצאו כי עיגולים קטנים יצרו תפיסה של המטרה כגדולה יותר ממטרה עם עיגולים גדולים, ולכן המשתתפים הצליחו יותר לדייק את החבטה (De Fockert et al., 2009; Witt et al., 2012; Wood et al., 2013). לעומתם, בזריקת גולות קנל-ברולנד ואחי (Canal-Bruland et al., 2016) מצאו שהקבוצה שהתנסתה עם עיגולים גדולים מסביב למטרה, הציגה את הביצועים המדויקים ביותר לנוכח המידע שנצבר על התרומה לדיוק בגין השימוש באשליית אבינגהאוס. נראה אפוא שהשימוש באשליה זו במהלך אימונים עשוי לתרום לשיפור הביצועים, ולכן הוא נבחר כהתערבות היעד במחקר זה. לנוכח הפערים בידע הקיים עד כה בנושא הדיוק, השימוש באשליית אבינגהאוס והעייפות במשחק הבוצייה, מטרת המחקר היו: (א) לבדוק כיצד השימוש באשליית אבינגהאוס משפיע על הביצוע. ההשערה הייתה שלפחות באחת משיטות האשליה יחול שיפור; (ב) לבחון אם יש שינוי במהלך האימון בדיוק הביצועים בכל אחד משלושה מחזורים של 20 זריקות. ההשערה הייתה שתחול ירידה בדיוק הביצוע.

## השיטה

מחקר זה נעשה בגישה של ניסוי תוך-נבדקי במדידות חוזרות. כל אחד מהמשתתפים התנסה פעמיים בשלושה מצבי ניסוי שונים. בניסוי השתתפו חמישה שחקנים אשר גויסו ממרכז הספורט איל"ן ברמת גן. בגיל  $36 \pm$  (בטווח 18-48 שנים).

הקריטריונים להכללה במחקר זה היו: (א) לקות גופנית משמעותית בארבעת הגפיים; (ב) ניסיון במשחק בוצייה של לפחות שנה.

### משימת הניסוי

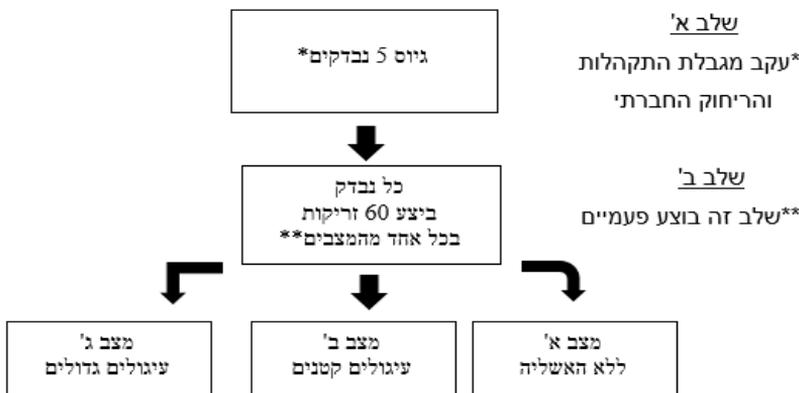
המשימה הייתה זריקת כדורי בוצייה לעבר כדור המטרה (ג'ק) שהוצב במרחק 3 מ'. הביצוע במשימה נבדק בשלושת המצבים: (א) ללא האשליה; (ב) עם עיגולים קטנים סביב הג'ק; (ג) עם עיגולים גדולים סביב הג'ק. העיגול המרכזי שעליו הונח כדור המטרה הלבן (הג'ק) בקוטר של 9 ס"מ היה במרחק של 3 מ' מקו הזריקה. מסביבו, לפי מצב ב', שמונה עיגולים קטנים בקוטר של 6 ס"מ, או לפי מצב ג', כשמסביבו 5 עיגולים גדולים בקוטר של 12 ס"מ. המשתתפים השתמשו בכדורים האישיים שאליהם הם מורגלים. במעבר בין מצב למצב נחו המשתתפים במשך 10 דקות להתאוששות ולהתאוררות מחוץ לאולם. כפי שניתן לראות באיור 3, כל נבדק ביצע באותו מפגש את כל שלושת המצבים (כל מצב ארך כחצי שעה). לאחר יומיים עד שלושה של מנוחה התקיים מפגש נוסף שהתנהל כמו המפגש הראשון.

על מנת לנטרל את אפקט הלמידה בין המצבים השונים, אם קיים, חולקו המשתתפים באופן אקראי לשלושה מצבים: מצב ללא האשליה (קבוצה א); עם האשליה ועם עיגולים קטנים (קבוצה ב); עם האשליה ועם עיגולים גדולים (קבוצה ג). ביחס לכל נבדק חושב מספר הזריקות בכל מצב עבור עוצמה של 70% וגודל אפקט של 0.25 בשלושה מצבים א', ב' ו-ג'. מספר הזריקות הרצוי היה 43 עבור עוצמה של 70%. ליתר ביטחון עלה מספר הזריקות ל-60, ולכן גדלה העוצמה ל-85.4%.

בסוף כל מפגש, על מנת לבדוק את המניפולציה נשאלו הנבדקים: "כמה אתה חושב מ-1-5 העיגולים מסביב תרמו לך?" (1 - כלל לא עזרו, 5 - עזרו מאוד).

### איור 3.

שלבי המחקר



### הליך המחקר

דיוק הזריקה נמדד כמקובל באימון על ידי מאמן או מתנדבי הקבוצה כמתווכים בין החוקרת לנבדקים. כדי לשמור על סמיכות הבודקים במהלך המדידה, חולקו הנבדקים למצבים השונים באופן אקראי בדרך של שליפת פתק מכובע. על מנת

לקבל סמיות כפולה קיבלו המאמן והצוות הנלווה הדרכה על ביצוע ההתערבות ועל מדידות הדיוק על ידי החוקרת שנמצאה איתם במקום הניסוי בכל מהלכו כדי לוודא את ביצועו התקין. מחקר זה נערך לפי המלצות ועדת האתיקה של מכללת וינגייט, בהסכמה מדעת בכתב מכל הנבדקים בהתאם להצהרת הלסינקי. את הפרוטוקול אישרה ועדת האתיקה של מכללת וינגייט.

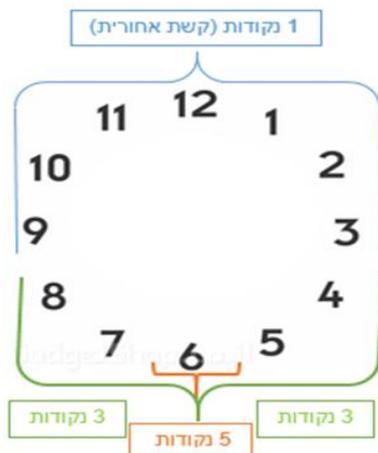
### כלי המחקר

דיוק הזריקה יחסית למטרה חושב באופן הבא: מאחר שלא נמצא מדד מקובל בתחום, פיתחה החוקרת מדד שהמליצו עליו מאמני ושחקן נבחרת בוצ'יה, והוא מוצג באיור 4. במסגרתו ניתנה התייחסות לדיוק מוחלט וגם למשמעות הטקטית המבוטאת במיקום הכדור הנזרק יחסית לגיק (כדור המטרה). המיקום של הכדור האיכותי ביותר הוא כזה החוסם את גזרת הנחיתה של כדורי היריב באופן המלא ביותר ומתואר כשעה 6 במעגל השעון. בטווחים שבין 4-5 וכן בין 7-8 על מעגל השעון הביצוע איכותי מעט פחות, שכן נחסם רק חלק מהמטרה לכדור היריב. בטווחים שבין 3-9 על מעגל השעון הכדור איננו חוסם את כדורי היריב ולכן איננו איכותי. לפיכך, הניקוד שניתן לביצוע השחקנים היה כך:

- א. כדור שנפל במרחק מעל 9 ס"מ (קוטר של כדור אחד) מהגיק = 0 נקודות
- ב. כדור שנפל מתחת ל-9 ס"מ מהגיק בזווית בין שעה 3 ל-9 (שאר קשת השעות - קו אחורלי) = נקודה אחת
- ג. כדור שנפל מתחת ל-9 ס"מ מהגיק + בין שעה 4 ל-8 = 3 נקודות
- ד. כדור שנפל מתחת ל-9 ס"מ מהגיק + בשעה 6 בדיוק = 5 נקודות

### איור 4.

ניקוד לפי פורמט דיוק ואפקטיביות



**ניתוח הנתונים הסטטיסטיים**

מחקר זה בוצע בנוהל של סדרת תיאורי מקרה, ולפיכך שאלת המחקר הראשונה תנותח באופן תיאורי בניתוח חזותי הבוחן את גרף הנבדק ואת השינויים המשמעותיים בדפוסי הנתונים בין שלב א', ב' ו-ג' תוך שימוש במתודולוגיה המקובלת במחקר חד-מקרי (Haegele & Hodge, 2015; McDougall, 2005). הקריטריון להצלחה הוגדר כאותן זריקות שקיבלו את הערך 5 (החלק הכתום באיור 4) או 3 (החלק הירוק באיור 4), לעומת אלו שקיבלו את הערך 1 (החלק הכחול באיור 4) או 0 (לא בטווח איור 4). לפיכך ייעשה שימוש עיקרי בחישוב אחוז הנתונים המתאימים (PCD - Percentage of Conforming Data) מחושב על ידי מספר הנתונים המבטאים את הקריטריון להצלחה – ציון 3 ו-5 לפי הנוסחה הבאה:

$$\text{מספר האירועים שנופלים בתוך הקריטריון (דירוג 3+5)} \\ \text{-----} * 100$$

מספר סך כל האירועים: מספר הזריקות היה 60, 20 זריקות בכל שלושת המצבים, פעמיים, סך הכול 120 זריקות למשתתף. לשאלת מחקר שניה: יושוו תוצאות כלל הביצועים בסיבוב בשליש הראשון של 20 זריקות לעומת הממצאים בשליש השלישי (של 20 זריקות) בכל אחד משני הסבבים על ידי מבחן וילקוקסון.

**ממצאים****השפעת השימוש באשליית אבינגהאוס על הדיוק**

המטרה הראשונה של המחקר הייתה לבחון את ההשפעה של אשליית אבינגהאוס על דיוק הזריקה בקרב חמשת שחקני בוצ'יה (שלושה שחקנים ושתים שחקניות בסיווג BC1-4, בגיל  $36 \pm 10.3$  שנים, טווח 18-48 שנים). כלומר אם יהיה הבדל בדיוק בין אימון ללא אשליה לאימון עם אשליית מטרה גדולה (סימון כדורים קטנים מסביב למטרה) או אשליית מטרה קטנה (סימון כדורים גדולים מסביב למטרה). נוסף על כך בוצעו חישובים על כלל הזריקות בכל אחד מהמצבים, כולל אלו שלא עמדו בקריטריון להצלחה. בכל מצב כזה (א', ב' או ג') היו בסך הכול 60 זריקות. לוח 1 מציג את ערכי PCD של כל אחד מהמשתתפים בכל אחד ממצבי הזריקה – א' (ללא סימון כדורים) ב' (סימון כדורים קטנים) ו-ג' (סימון כדורים גדולים) בשני הסבבים בערך הממוצע שלהם.

**לוח 1.**

**מצבי הזריקות ואחוז PCD בכל שלושת המצבים, לכל נבדק בנפרד**

ממוצע	5	4	3	2	1	מצב/נבדק
73.8	21.20%	30.80%	31%	27%	29.20%	ללא אשליה
76.3	36.40%	32.30%	31%	33.30%	33.80%	עיגולים קטנים
87.5	42.40%	36.90%	38.10%	40%	36.90%	עיגולים גדולים

בלוח 1 נצפתה עלייה עקבית של PCD בין א' ל-ב' ול-ג' (כלומר: א > ב > ג) בכל ארבעת הנבדקים מבין חמשת הנבדקים. בכל מקרה מצב ג' גדול ממצב א' אצל כל הנבדקים. לוח 2 מציג עד כמה הנבדקים הרגישו שהעיגולים של האשליה תורמים להם, כאשר 5 ברמה הכי גבוהה ו-1 במידה הנמוכה ביותר. ניתן לראות שמצב ג' תרם במרבית המקרים – כ-8 מקרים מבין 10, משמע 80% מהנבדקים להוציא את נבדק 3. לעומת זאת מצב ב' תרם רק ב-60% מהמקרים – כ-6 מקרים מבין 10. נבדק 3 לא חש שהאשליה תרמה לו בכלל, בעוד שכל שאר הנבדקים לפחות באחד הסבבים חשו שהעיגולים תרמו להם. ובאופן ספציפי, מצב ג' תרם לכל שאר הנבדקים בשני הסבבים.

**לוח 2.**

עד כמה הנבדקים הרגישו שהעיגולים תורמים להם (דירוג 1-5)

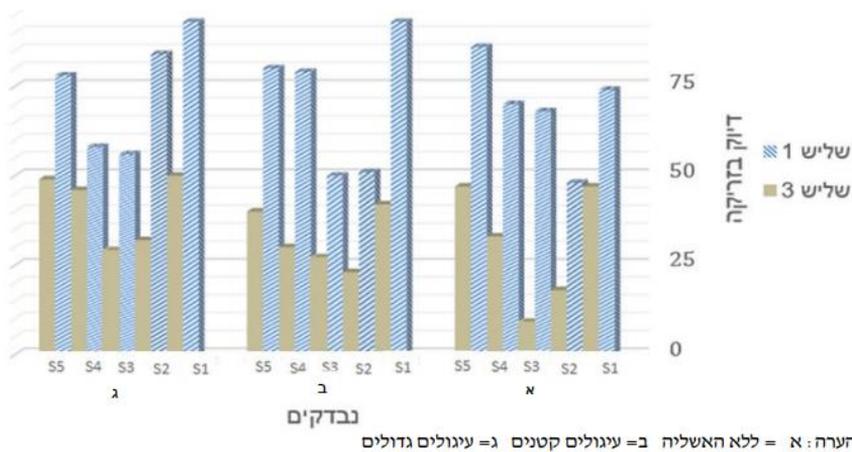
מזב/ נבדק	1	2	3	4	5
סבב א					
עיגולים קטנים	3	4	1	3	3
עיגולים גדולים	4	5	1	5	3
סבב ב					
עיגולים קטנים	1	4	2	4	1
עיגולים גדולים	3	5	2	4	3

**השפעת העייפות**

המטרה השנייה של המחקר הייתה לבחון אם חלו שינויים בדיוק במהלך הזריקות. לפיכך נבדק אם יהיה הבדל בדרגת הדיוק הממוצעת בין מחזור הזריקות של 20 הזריקות הראשונות (שליש ראשון) מבין 60 הזריקות, בכל מצב לכל נבדק (S5-S1), מול 20 הזריקות האחרונות (שליש שלישי). הממצאים האישיים מופיעים באיור 5.

**איור 5.**

סכום ניקוד הדיוק בשני הסבבים לפי כל נבדק בכל מצב מחולק לשליש ראשון מול שלישי שלישי



בלוח 3 מופיעה ההשוואה בין הסבב הראשון לסבב השלישי. אצל כל הנבדקים חלה ירידה: במצב א' ירידה של 55%, כלומר יותר מחצי; במצב ב' ירידה של 54%; ובמצב ג' הירידה הכי קטנה של 44%. לנוכח השינוי העקבי והגדול בכל הנבדקים נעשה ניסיון לבחון את מובהקות השינוי באמצעות מבחן וילקוקסון המתאים למדגמים קטנים. ניתן לראות שבסכום כל מצב, הערכים נמוכים מ-0.05. המשמעות היא שיש הבדל מובהק וירידה ברמת הביצוע מבחינת דיוק בשליש השלישי מול השליש הראשון בכל המצבים ואצל כל הנבדקים.

### לוח 3.

מבחן וילקוקסון להשוואה בין שליש ראשון לשליש שלישי בכל סכום מצב

P Value	Z Value	סכום שליש 3	סכום שליש 1	מצב זריקה
>0.05	2.022	154	346	ללא האשליה
>0.05	2.022	162	353	עיגולים קטנים
>0.05	2.022	206	369	עיגולים גדולים

## דיון

הממצאים בסדרת תיאורי מקרה שהוצגו במחקר זה מציגים יתרון לכאורה של השימוש באשליית אבינגהאוס לעומת השימוש בזריקות כדורים ללא האשליה. היתרון בא לידי ביטוי אצל נבדקים בעלי ניסיון מעל שנה במשחק בוצייה, ואצל כל הנבדקים התקבלה עלייה בדיוק במצב עיגולים גדולים של האשליה לעומת ללא האשליה ולעומת מצב כדורים קטנים.

כעת אדון במשמעות של הממצאים לפי שאלות והשערות המחקר.

### השפעת השימוש באשליית אבינגהאוס על הדיוק

השערת המחקר הייתה ששימוש באשליית אבינגהאוס יסייע גם בשיפור הדיוק במשחק בוצייה. בעבר נוסה האימון בסיוע אשליית אבינגהאוס בעיקר בשחקני גולף, ואילו כאן הוא בוצע לראשונה במשחק בוצייה. לנוכח הבידוד החברתי והסגר שנכפה בשל מגפת הקורונה הצטמצם מספר המשתתפים בפעילות הבוצייה בארץ (כמו בכל פעילויות הספורט) במידה ניכרת. לפיכך ביצענו נוהל של סדרת תיאורי

מקרה תוך שימוש בניתוח החזותי במתודולוגיה המקובלת (Haegele & Hodge, 2015). נעשה אפוא שימוש עיקרי בחישוב אחוז הנתונים המתאימים (PCD) כמפורט בשיטת המחקר. מכיוון שבתיאורי מקרה כל נבדק הוא תמונה בפני עצמה, אנו משווים את ביצועיו בין התנאים אחרים, והוא מתפקד כביקורת של עצמו ומפורש לרוב באמצעות ניתוח חזותי (Cooper et al., 2007; Horner et al., 2005). במחקר הנוכחי נמצא שאשליית אבינגהאוס הועילה לביצוע מדויק יותר באופן מובהק ב-9 מבין 10 סדרות של מצב ג', אצל כל הנבדקים התקבל אחוז גבוה יותר של ביצועים ברמת דיוק 3 ו-5 (מיקום נחיתת הכדור בדרגת איכות הגבוהות ביותר) שנבחרה כקריטריון להצלחה. כמקובל בתיאורי מקרה, בניתוח שכזה ניתן היה לראות את אמינות הדגימה ואת השפעתה כאשר נערך שכפול לפי הצעתם של ג'והנסטון ופניפייקר (Johnston & Pennypacker, 2009). השכפול היה כרוך במדדים חוזרים ונשנים הכוללים התערבות שנייה לחיזוק המסקנה ואמינותה (כלומר ABCABC). במחקר זה התקבל כי מצב ג' טוב יותר מכל יתר המצבים בשני הסבבים. זאת כאשר אפקט הלמידה בין המצבים השונים נוטרל על ידי חלוקה סמי-רנדומלית לשלושת המצבים בכל מפגש.

בגישה המחקרית של סדרת תיאורי מקרה נהוג להציג לפי כל נבדק יחיד להערכה, ופרשנות הנתונים מסתמכת על ניתוח חזותי שיטתי (Alberto & Troutman, 2013; Cooper et al., 2007; Kratochwill et al., 2010; et al., 2012). ניתוח חזותי שבוצע במחקר הנוכחי גילה כי כל נבדק היה טוב יותר ביחס לעצמו במצב ג'. נשאלת השאלה, מדוע במחקר הנוכחי מצב ג' הועיל יותר ממצב ב'? הרי לפי ויט ואח' (Witt et al., 2012) הנבדקים הצליחו יותר במשחק גולף כאשר החורים הוקפו על ידי עיגולים קטנים (מצב ב'). בחזרה על הניסוי, ווד ואח' (Wood et al., 2013) קיבלו אותן תוצאות, וטענו שכשהמטרה נראית גדולה יותר למשתתפים, הם מאמינים בעצמם ומשפרים את הביצועים. חשוב לציין כי הם הציגו גרסה אחת של האשליה כל פעם בנפרד ולא בו-זמנית לפי מקווסצ'יקס ואח' (Maquestiaux et al., 2021). עובדה זו מערערת את אפקט האשליה, כלומר לנבדק לא באמת הייתה אפשרות להשוות את שתי גרסאות האשליה וללכת שולל אחריה. אולם בעוד שגם אצל שובל ואח' (Chauvel et al., 2015) נמצא כי המשתתפים באימון שבו המטרה נתפסה כגדולה יותר הראו שיפור בביצוע, אזי מאמר של קנל-ברולנד ואח' (Canal-Bruland et al., 2016) שלל את הטענה הזו והראה כי דווקא אימון בזריקה למטרה שנתפסה כקטנה יותר הביא לשיפור בתוצאות. במחקרם זרקו הנבדקים גולות עם אשליית אבינגהאוס ונמצא שהקבוצה שהתנסתה עם מצב ג' (עיגולים גדולים) הציגה את הביצועים המדויקים ביותר – בדיוק כמו במחקר הנוכחי. לפיכך, המחברים טוענים שניתן לחזות את ההפך: מטרות קטנות יותר אמורות לאלץ את המבצע להיות מדויק יותר ובכך מביאות אותו לדיוק גבוה יותר. מאחר שהדבר מוביל להתמקדות מוגברת במטרה, אורך ומשתפר משך תכנון וכוונון התנועה עד הזריקה. כלומר שכשהמטרה נתפסת כקטנה יותר (על אף שהיא באותו גודל) נוצרת מוטיבציה לדייק יותר על מנת להצליח, בדומה למה שקרה במחקר הנוכחי. תוצאות אלה, שנמצאו בבדיקת מיומנות זריקת גולות – פעולה הדומה יותר לזריקת כדורי בוצ'יה מאשר חבטת גולף – מאוששות את הממצאים של המחקר הנוכחי. עוד עובדה שמחזקת את הממצאים היא הפידיבק מהנבדקים עצמם, כפי שניתן לראות בלוח 2, מרביתם חשו במדד

הדירוג הסובייקטיבית, שהאשליה תורמת להם בייחוד במצב ג'. על כן, באשר לשאלת המחקר ניתן לומר כי אשליית אבינגהאוס, כאשליה ויזואלית המשנה את תפיסת גודל המטרה, משפיעה לטובה על הלמידה המוטורית. אולם בהקשר של זריקה למטרה באמצעות כדורי בוצייה – דרושים מחקרים נוספים במדגם גדול והומוגני יותר כדי שיהיה ברור היכן ההשפעה גדולה יותר: תפיסת מטרה גדולה או תפיסת מטרה קטנה.

### השפעת העייפות

השערת מחקר זו גם היא אוששה על פי הממצאים שכן נמצאה ירידה מובהקת בדיוק כתוצאה מעייפות אצל כל הנבדקים. עם זאת ייתכן שהשינויים נבעו גם מחוסר קשב, חוסר ריכוז, חוסר מוטיבציה, שעמום מהמחקר וכדומה. תוצאות המחקר הציגו ירידה בביצועים של יותר מ-50% בכל שלושת המצבים יחדיו (סכום הדירוגים 1,068 בשליש ראשון מול 522 בשליש שלישי). תוצאות המחקר הנוכחי היו דומות לאלה של מחקרים אחרים שהראו כי עייפות משפיעה על הביצועים בספורט (Stirn) (et al., 2011; Zory et al., 2006). אפשר להסביר את תופעת העייפות בעייפות שריר מקומית, שהרי שרירי פלג גוף עליון פעילים מאוד בבוצייה. את הממצאים במחקר זה מאשש מחקרם של פונג ואח' (Fong et al., 2012), אשר בדקו ספורטאי בוצייה שזרקו 72 כדורים ומדדו להם פעילות חשמלית של השריר באמצעות EMG. חוקרים אלו תיעדו נתונים שמהם ניתן להסיק שעייפות שרירים עשויה להוביל לביצועים תפקודיים לקויים בחלק האחרון של המשחק, כמו הפחתת מהירות הכדור, שכן היא משפיעה לרעה על היכולת להשתמש בטקטיקות משחק כדי לנצח את היריב. את ההתעייפות השרירית בזריקת כדורי בוצייה ניתן להסביר בכמה דרכים: ראשית, במנגנון העצבי שרירי הלקוי של השחקנים עם שיתוק מוחין יש תופעה הנקראת כיווץ מקבילי (Co-contraction) של אגוניסט ואנטגוניסט (Sanger, 2006). תופעה זו גורמת למאמץ שרירי מיותר. נוסף על כך יש קושי באיזון הבין-שרירי, ויש להניח שבמהלך תנועת הזריקה נדרש מאמץ רב של השרירים המייצבים את הגו שגם הוא עלול לגרום להתעייפות (Huang et al., 2014). מכאן ניתן להבין שמטלת הזריקה היא כשלעצמה פעילות מתישה עבור אנשים אלו, במיוחד עבור אלה עם לקויות חמורות ביותר. זאת ועוד, יש להביא בחשבון את מיקום הכדור שמשתנה כמעט אחרי כל זריקה וגורם למגוון מצבים במשחק המקשים על מידת הדיוק בזריקה, מהירות הכדור והבחירה באסטרטגיות במהלכו. בתחרויות העייפות גורמת לקשיים בשליטה ומכאן למשך תנועה ארוך יותר (Fong et al., 2012). על סמך הנתונים במחקר הנוכחי ניתן לומר שכבר אחרי 40 זריקות החלה ירידה בדיוק הזריקה. לכן על מאמנים לנקוט משנה זהירות בעת תכנון אימון באשר לנפח ולעוצמת האימון לספורטאים שלהם, כמו כן נחוצים אימונים ממוקדים ובמינון התנגדות מתאים לחיזוק שרירי פלג גוף עליון כדי למטב את תפקוד השרירים, למזער התעייפות ולשפר מיומנות וביצועים (Gibson & Edwards, 1985). עוד דובר במחקר של פונג ואח' (Fong et al., 2012) על חולשה שרירית בקרב שחקני בוצייה עם שיתוק מוחין, בדגש על חולשת שרירי פלג גוף עליון והטרפו במיוחד. כבר שם הוסק כי חולשת השרירים עלולה להביא לביצועים לקויים בחלק האחרון של המשחק מבחינת דיוק וביצוע, ולכן נחוצים אימוני כוח מייצבים לאותן קבוצות שרירים. אחת הדרכים המומלצות להפחתת עייפות ולשיפור הביצועים ובכלל עוסקת באימון מרווח שמחלק את היקף

התרגול לאינטרוולים קצרים וביניהם הפסקות המאפשרות למערכת עצב השריר להתאושש מהמאמץ. ואכן, רולדן ואח' (Roldan et al., 2017) בדקו את השפעת אימון גדוש מול אימון מרווח בשחקני בוצייה עם מוגבלות מול ספורטאים ללא מוגבלות, ומצאו כי שחקני בוצייה הציגו תוצאה נחותה מזו של עמיתיהם ללא המוגבלות. גם ממצא זה ניתן להסביר בחולשת שרירים ומסת שריר מוגבלת. עוד הם מצאו, שבאימון מרווח שחקני בוצייה הצליחו יותר. נראה שבאימון מרווח היה יותר זמן להתאוששות של השרירים הפעילים והמייצבים. כמו כן לספורטאים היה פחות לחץ בזמן ולכן התאפשר להם לבצע תנועות מבוקרות ומדויקות יותר. שחקני בוצייה יכלו לווסת את עצמם לפי רמת הלכות שלהם, והם בחרו את הקצב האופטימלי ביותר לביצוע המשימות במהירות האפשרית. לעומת זאת נראה כי אימון גדוש מציב אתגר גדול עבור שחקני בוצייה, משום שהוא מחייב יותר שליטה, תכנון תנועה ועיבוד מידע סנסורי בפרק זמן מוגבל. כיוון שכך, הביצועים פחות טובים, יעילות התנועה קטנה ומהירות התנועה פוחתת (Xu et al., 2015). מומלץ אפוא למאמני בוצייה ולחוקרים שיבחנו מערכים שונים של תזמון אינטרוולים של זריקות, הכוללים מחקרי התערבות והשפעה של תרגילים שונים או אימוני שיפור כוח, מיומנויות וריכוז לאורך סדרת זריקות – כאלה שיביאו לשיפור הביצועים בספורטאי בוצייה. עוד התקבלה משאלה זו מסקנה שמחזקת את שאלת המחקר הראשונה. כלומר, הנתונים מצביעים על כך שבמצב ג' התקבלה הכי פחות ירידה בביצוע לעומת יתר המצבים, אפשר שנוסף על יתרון ביחס לדיוק יש יתרון למצב ג' גם בהקשר של שינוי הביצוע על ציר הזמן. כמובן שאפשרות זו תידרש לבחינה חוזרת עם מספר גדול של נבדקים. כמו כן חשוב לבחון אם היתרון שנמצא לשימוש באשליה במהלך האימון משליך גם על הביצוע במצבי אמת של התחרות.

### מגבלות המחקר

עוצמת המחקר הייתה הולמת אילו היה שימוש בגודל מדגם גדול והומוגני יותר. בתחילה חושב גודל המדגם באמצעות ניתוח עוצמה אפריורי על סמך ההנחות של קבוצה אחת לבדיקות חוזרות, כאשר כל נבדק מבצע שלושה תנאים בסדר שונה, גודל האפקט 0.25 עוצמה של 0.7 עם רווח בר סמך קטן או שווה ל-0.05. על פי נתונים אלו גודל המדגם הרצוי הוא 24 נבדקים. בפועל במחקר הנוכחי המדגם קטן יותר – כחמישה נבדקים, משום מגבלות הקורונה והגבלת ההתגודדות במיוחד במרחבים סגורים שמנעה ממשתתפים רבים להגיע לפעילות. לכן ההתייחסות הפרטנית חושבה באמצעות חישוב PCD כחלק מהתמודדות עם האתגר שהציב מיעוט משתתפים. טווח הגילים בין 18 ל-48 שנים גדול יחסית. ניתוח הנתונים ראוי שיהיה כך שכל נבדק מבצע את החקר מבודד משאר משתתפי המחקר.

### סיכום

בהתחשב במגבלות המחקר שצוינו לעיל, ניתן להבחין במגמות אחדות ואלו

הן:

א. בסדרת הנבדקים שנחקרה נמצא שיפור בדיוק במהלך השימוש באשליית אבינגהאוס (למעט נבדק אחד במצב ב'). העדות לשיפור במדדי הדיוק למרות המוגבלות הגופנית הקשה של המשתתפים מלמדת שהשימוש באשליית אבינגהאוס, במיוחד בעזרת העיגולים הגדולים, התאים למשתתפים. מן הראוי אפוא להמשיך ולבחון את השימוש באסטרטגיה

שכזאת גם בעתיד, שכן המחקר הגדיל את ההיצע של אסטרטגיות אימון המוצעות לאוכלוסיות עם מוגבלות זו.

ב. במהלך סדרה של 60 זריקות נמצאה בכל המקרים ירידה עקבית משמעותית ומובהקת של 50% ומעלה בביצוע בשליש האחרון לעומת השליש הראשון בסדרה. אפשר שתוצאה זו מלמדת על עייפות שרירית או על ירידה ביכולת הריכוז ובתיאום הבין-שרירי. יש לזכור כי עייפות היא מנגנון המגן על הגוף ועל השרירים מפני נזקים, ולכן חשוב להתייחס לכך בזמן אימוני הבוצ'יה, למשל על ידי אימון מרווח.

## מקורות

- Alberto, P. A., & Troutman, A. C. (2013). *Applied behavior analysis for teachers* (9th ed.) Pearson Education.
- Avila, R. F., & Moreno Hernández, F. J. (2000). *The perception and neuromuscular activity in individuals with cerebral palsy playing Boccia* [methodological evaluation]. Una propuesta metodológica de evaluación. *A Punts: Educación Física y Deportes*, 60, 59–65. Spanish.
- Bahmani, M., Wulf, G., Ghadiri, F., Karimi, S., & Lewthawite, R. (2017). Enhancing performance expectancies through visual illusions facilitates motor learning in children. *Human Movement Science*, 55, 1-7.
- Barak, S., Mendoza-Laiz, N., Fuentes, M.T., Rubiera, M., & Huyzler, Y. (2016). Psychosocial effects of competitive Boccia program in persons with severe chronic disability. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 53 6, 973-988.
- Braendvik, S. M., Elvrum, A. K., Vereijken, B., & Roeleveld, K. (2009). Relationship between neuromuscular body functions and upper extremity activity in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 52(2), e29–e34.
- Canal-Bruland, R., van der Meer Y., & Moerman, J. (2016). Can visual illusion be used to facilitate sport skill learning? *Journal of Motor Behavior*, 48(5), 285-389.
- Cerebral Palsy International Sport and Recreation Association (2010). *CPISRA sports manual*.  
[http://www.cpisra.org/files/manual10\\_9p/C](http://www.cpisra.org/files/manual10_9p/C)
- Cifrek, M., Medved, V., Tonkovic, S., & Ostojic, S. (2009). Surface EMG based muscle fatigue evaluation in biomechanics. *Clinical Biomechanics*, 24, 327–340.
- Chang, J. J., Wu, T. I., Wu, W. L., & Su, F. C. (2005). Kinematical measure for spastic reaching in children with cerebral palsy. *Clinical Biomechanics*, 20(4), 381–388.

- Chauvel, G., Wulf, G., & Maquestiaux, F. (2015). Visual Illusions can facilitate sport skill learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(3), 717-721.
- Chen, Y. P., & Yang, T. F. (2007). Effect of task goals on the reaching patterns of children with cerebral palsy. *Journal of Motor Behavior*, 39(4), 317-324.
- Cooper, J. O., Heron, T. E., & Heward, W. L. (2007). Applied behavior analysis (2nd ed.). Pearson Education.
- Damiano, D. L., Stanley, C. J., Ohlrich, L., & Alter, K. E. (2017). Task-specific and functional effects of speed-focused elliptical or motor-assisted cycle training in children with bilateral cerebral palsy: Randomized clinical trial. *Neurorehabil Neural Repair*, 31(8), 736-45.
- De Fockert, J., Davidoff, J., Fagot, J., Parron, C., & Goldstein, J. (2007). More accurate size contrast judgments in the Ebbinghaus Illusion by a remote culture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(3), 738-742.
- De Luca, C. J. (1984). Myoelectrical manifestations of localized muscular fatigue in humans. *Critical Review of Biomedical Engineering*, 11(4), 251-279.
- Dickson, M. J., Fuss, F. K., & Wong, K.G. (2011). Benchmarking of boccia balls: Roll distance, accuracy, stiffness, rolling friction, and coefficient of restitution. *Sports Technol*, 3, 131-40.
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2008). Muscle fatigue: What, why and how it influences muscle function. *Journal of Physiology*, 586(1), 11-23.
- Fong, D. T. P., Yam, K. Y., Chu, V. W. S., Cheung, R. T. H., & Chan, K. M. (2012). Upper limb muscle fatigue during prolonged Boccia games with underarm throwing technique. *Sports Biomechanics*, 11(4), 441-451.
- Gibson, H., & Edwards, R. H. T. (1985). Muscular exercise and fatigue. *Sports Medicine*, 2, 120-132. <https://doi.org/10.2165/00007256-198502020-00004>.

- Giuffrida, C. G., Shea, J. B., & Fairbrother, J. T. (2002). Differential transfer benefits of increased practice for constant, blocked, and serial practice schedules. *Journal of Motor Behavior*, *34*(4), 353-365.
- Gowen, E., & Hamilton, A. (2013). Motor abilities in autism: A review using a computational context. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *43*(2), 323-344.
- Haegele, J. A., & Hodge, S. R. (2015). The applied behavior analysis research paradigm and single-subject designs in adapted physical activity research. *Adapt Phys Activ Q*, *32*(4), 285-301.  
<http://doi.org/10.1123/APAQ.2014-0211>.
- Hanlon, R. E. (1996). Motor learning following unilateral stroke. *Arch Phys Med Rehabil*, *77*, 811-815.
- Horner, R. H., Carr, E. G., Halle, J., McGee, G., Odom, S., & Wolery, M. (2005). The use of single-subject research to identify evidence-based practice in special education. *Exceptional Children*, *71*(2), 165-179.  
<http://doi.org/10.1177/001440290507100203>.
- Huang, P. C., Pan, P. J., Ou, Y. C., Yu, Y. C., & Tsai, Y. S. (2014). Motion analysis of throwing Boccia balls in children with cerebral palsy. *Research in Developmental Disabilities*, *35*(2), 393-399.
- Hynes-Dusel, J. M. (2002). Practice and motor learning. *Physical Educator Spring*, *59*(2), 58-66.
- Johnston, J. M., & Pennypacker, H. S. (2009). *Strategies and tactics of behavioral research* (3rd ed.). Routledge.
- Karni, A., & Bertini, G. (1997). Learning perceptual skills: Behavioral probes into adult cortical plasticity. *Current Opinion in Neurobiology*, *7*(4), 530-535.
- Kratochwill, T. R., Hitchcock, J., Horner, R. H., Levin, J. R., Odom, S. L., Rindskopf, D. M., & Shadish, W. R. (2010). *Single case designs technical documentation*. What Works Clearinghouse website:  
[http://ies.ed.gov/ncee/wwc/pdf/wwc\\_scd.pdf](http://ies.ed.gov/ncee/wwc/pdf/wwc_scd.pdf)
- Lee, H. M., Huang, Y. Z., Chen, J. J., & Hwang, I. S. (2002). Quantitative analysis of the velocity related pathophysiology of spasticity and

- rigidity in the elbow flexors. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 72(5), 621-629.
- Lin, C. H., Sullivan, K. J., Wu, A. D., Kantak, S., & Winstein, C. J. (2007). Effect of task practice order on motor skill learning in adults with Parkinson disease: A pilot study. *Physical Therapy*, 87(9), 1120-1131.
- Magill, R. A., & Hall, K. G. (1990). A review of the contextual interference effect in motor skill acquisition. *Human Movement Sciences*, 9, 241-289.
- Maquestiaux, F., Arexis, M., Chauvel, G., Ladoy, J., Boyer, P., & Mazerolle, M. (2021). Ebbinghaus visual illusion: No robust influence on novice golf-putting performance. *Psychological Research*, 85, 1156–1166. <https://doi.org/10.1007/s00426-020-01298-0>
- Marchant, D. C., Carnegie, E., Wood, G., & Ellison, P. (2018). Influence of visual illusion and attentional focusing instruction in motor performance. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 17(216), 1-11.
- McDougall, D. (2005). The range-bound changing criterion design. *Behavioral Interventions*, 20, 129-137. <http://doi.org/10.1002/bin.189>.
- Morriss, L., & Wittmannová, J. (2010). The effect of blocked versus random training schedules on Boccia skills performance in experienced athletes with cerebral palsy. *European Journal of Adapted Physical Activity*, 3(2), 17-28.
- Olney, S. J., & Wright, M. J. (2000). Cerebral palsy. In G. L. Campbell (Ed.), *Physical therapy for children* (2nd ed., pp. 533–570). W. B. Saunders.
- Oskoui, M., Coutinho, F., Dykeman, J., Jetté, N., & Pringsheim, T. (2013). An update on the prevalence of cerebral palsy: A systematic review and meta-analysis. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(6), 509-519.

- Reid, S., Elliott, C., Alderson, J., Lloyd, D., & Elliott, B. (2010). Repeatability of upper limb kinematics for children with and without cerebral palsy. *Gait & posture*, *32*(1), 10-17.
- Reina, R., Domínguez-Díez, M., Urbán, T., & Roldán, A. (2018). Throwing distance constraints regarding kinematics and accuracy in high-level boccia players. *Science & Sports*, *33*(5), 299-306.
- Roberts, B., Harris, M. G., & Yates, T. A. (2005). The roles of induced size and distance in the Ebbinghaus Illusion (Titchener circles). *Perception*, *34* (7), 847–856.
- Roldan, A., Sabido, R., Barbado, D., Caballero, C., & Reina, R. (2017). Manual dexterity and intralimb coordination assessment to distinguish different levels of impairment in Boccia players with Cerebral Palsy. *Frontiers in Neurology*, *8*, 582.
- Romero, A.R., Campo, V.L., & Reina-Vaillo, R. (2010). *Analysis of kinetic variables applied or classification of Boccia athletes of Classes BC1 & BC2* [master's thesis]. [Elche (Spain)]: Miguel Hernández University.
- Ronnqvist, L., & Rosblad, B. (2007). Kinematic analysis of unimanual reaching and grasping movements in children with hemiplegic cerebral palsy. *Clinical Biomechanics*, *22*(2), 165–175.
- Sanger, T. D. (2006). Arm trajectories in dyskinetic cerebral palsy have increased random variability. *Journal of Child Neurology*, *21*(7), 551–557.
- Schmidt, R., & Lee, T. (2013). *Motor learning and performance: A situation-based learning approach* (5th Edition). Human Kinetics Publishers.
- Steenbergen, B., & Gordon, A. M. (2006). Activity limitation in hemiplegic cerebral palsy: Evidence for disorders in motor planning. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *48*(9), 780–783.
- Stirn, I., Jarm, T., Kapus, V., & Strojnik, V. (2011). Evaluation of muscle fatigue during 100-m front crawl. *European Journal of Applied Physiology*, *111*, 101–113.

- Szues, K., Navalgund, A., & Borstad, J. D. (2009). Scapular muscle activation and co-activation following a fatigue task. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 47, 487–495.
- Urbán, T., Gutiérrez, Ó., & Moreno, F. J. (2015). Effects of unstable conditions on kinematics and performance variables in young handball players. *Journal of Human Kinetics*, 46(1), 39-48.
- Van Thiel, E., Meulenbroek, R. G., Hulstijn, W., & Steenbergen, B. (2000). Kinematics of fast hemiparetic aiming movements toward stationary and moving targets. *Experimental Brain Research*, 132(2), 230-242.
- Witt, J. K., Linkenauger, S. A., & Proffitt, D. R. (2012). Get me out of this slump! Visual illusions improve sports performance. *Psychological Science*, 23, 397-399.
- Wood, G., Vine, S. J., & Wilson, M. R. (2013). The impact of visual illusions on perception, action planning, and motor performance. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 75, 830–834.  
<http://doi.org/10.3758/s13414-013-0489-y>
- Xu, K., Mai, J., He, L., Yan, X., & Chen, Y. (2015). Surface electromyography of wrist flexors and extensors in children with hemiplegic cerebral palsy. *PM R. Mar*, 7(3), 270-275.  
<http://doi.org/10.1016/j.pmrj.2014.09.009>
- Zory, R., Millet, G., Schena, F., Bortolan, L., & Rouard, A. (2006). Fatigue induced by a cross-country skiing KO sprint. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38 (12), 2144–2150.