

# חלקיקים מגנטיים- הורגים או עוזרים?

## המוסד בו נערך הניסוי:

אוניברסיטת תל אביב, המחלקה  
למיקרוביולוגיה מולקולרית וביוטכנולוגיה,  
מעבדת פרופ' טל דביר.

**בית ספר:** קמפוס פרס חולון.

**המורה המלווה:** מאיה מירוז

**שמות התלמידים:** לביא ליזורק, ליאור

מועלם, נווה בן חיים ודולב גמזו לטובה

## פרק מבוא

מחלות לב וכלי דם הם הגורם הראשון לתחלואה ולתמותה בעולם המערבי. התקפי לב הם סיבת המוות השנייה בישראל, שכן הם אחראים למותם של יותר מ-20 אלף אנשים בשנה [1,9]. המצבים הרפואיים המגבירים את הסיכון ללקות במחלות לב וכלי דם נחלקים לגורמי סיכון הניתנים לשינוי וקשורים לגורמים סביבתיים ולהרגלי חיים (כגון עישון, היעדר כושר גופני, תזונה לקויה, מצבי דחק נפשיים וחברתיים, סוכרת, יתר לחץ דם), ולגורמי סיכון שלא ניתן לשנותם (כגון מגדר, גיל, תורשה ותכונות גנטיות מולדות) [2,3]. סקר של האיגוד הישראלי לקרדילוגיה בחן את מודעות האזרחים בישראל לגורמי הסיכון הללו. 18% מתושבי מדינת ישראל הינם מעשנים פעילים, 11% סובלים מיתר לחץ דם ו-7.4% מהישראלים סובלים מסוכרת. בנוגע לפעילות גופנית, נמצא שיותר משליש מהאזרחים בישראל (37%) לא מקיימים פעילות ספורטיבית כלל. לגבי רמת הכולסטרול נמצא ש-60% מהציבור הישראלי אינו מודע למצב הכולסטרול בגופו [3,4]. לסיום, נמצא שמרבית הישראלים לא מודעים לכך שישנם מספר גורמי סיכון למחלות לב הניתנים לשינוי, אשר מתחילים כבר בגיל צעיר ושניתן למנוע את הופעתם והתקדמותם [1,5].

אחת הבעיות הקשות בתפקוד הלב, שמושפעת הן מגורמים גנטיים והן סביבתיים, נקראת הפרעת קצב, והיא נובעת משיבוש בתפקוד החשמלי או המבני של שריר הלב. הטיפול בבעיות לב, כגון הפרעת קצב, משלב כיום טיפול בתרופות והשתלות. ניתוח השתלת לב מטרתו לספק לב מתפקד לאדם אשר איבד את תפקודו הלבבי, עקב מגוון רב של גורמים, המביאים לאי ספיקת לב סופנית: כישלון לבבי חריף או כרוני, עקב אירוע לבבי איסכמי (התקף לב), פגיעה מבנית במדורי הלב, פגיעה לבבית סוכרתית, קרדיומיופתיות (מחלה של שריר הלב), מחלה ריאתית כרונית המביאה לכישלון לבבי, פגיעה לבבית זיהומית, מומי לב מולדים ועוד. מחלת לב סופנית המצריכה השתלת לב היא כזו שלא צפוי כי תשתפר בעזרת טיפול תרופתי או ניתוחי אחר, ואלמלא ההשתלה תוחלת החיים המרבית העתידית היא של כשנה-שנתיים [10].

אמנם השתלה היא פתרון רפואי מציל חיים, אבל יש בה סיכונים לא מעטים כגון: זיהום בפצע הניתוח, דימום, פגיעה בכלי הדם הלבביים, דחיית שתל, פגיעה במבנה הלב והבעייה החמורה מכל- להשתלת לב צריך תרומת לב [11]. זמן ההמתנה הממוצע לתרומת לב יכול לנוע בין ימים ספורים לבני המזל ועד כמה שנים, היות כי מספר התורמים רחוק מלספק את הדרישה באיברים להשתלה [12]. על מנת לפתח טיפולים יעילים יותר ופולשניים פחות לבעיות לב דרושים מודלים מחקריים חדשניים. שיטה חדשנית אחת מתבססת על שימוש בתאי גזע עובריים [6,7], שהחוקרים מכוונים את התמיינותם בתרבית לתאים בעלי תכונות מבניות ואלקטרו-פיזיולוגיות אופייניות ללב [8].

חוקרים במעבדה של פרופ' דביר חיפשו פתרון לבעיות הכרוכות בהשתלת לב. כיום, במעבדה זו מציעים ליצור טלאי לבבי ביולוגי- רקמות המכילות כלי דם מתפקדים, שמותאמות בצורה מושלמת לחולה. טלאי זה נועד להיות "חלק חילוף" לאזור הפגום ומטרתו למנוע תגובה של המערכת החיסונית, ולאפשר פיקוח ישיר על מוקד הבעיה ושליטה מרחוק [13]. הטלאי מורכב מכמה שכבות של רקמה, כשלכל שכבה יש מבנה ייחודי והיא ממלאת תפקוד אחר: בשכבה אחת ממוקמים תאי לב באופן שמעודד אותם להתארגן יחד כרקמה מתכווצת. רקמה אחרת מאפשרת ארגון של תאי אנדותל ליצירת כלי דם. שכבות אחרות בנויות כך שמאפשרות שחרור מבוקר של חומרים פעילים ביולוגית, שאמורים להשפיע על הרקמה המהונדסת או על רקמות החולה [14].

מבחינה מעשית במעבדה, לוקחים ביופסיה מרקמת שומן של המטופל, התאים עוברים טיפול ש"מתכנת אותם מחדש" ולמעשה מחזיר אותם למצב של תאי גזע פלוריופוטנטיים, כלומר כאלה שיש להם פוטנציאל להתמייין למרבית התאים בגוף. בשלב השני, בזמן שהתאים מתוכנתים-מחדש להפוך לתאי גזע פלוריופוטנטיים, נעשה עיבוד של החומר החוץ תאי ליצירת הידרו-ג'ל מותאם חיסונית ובעל יכולת להגיב לטמפ' [15]. לאחר מכן, הכנת רקמה מהונדסת של תאי הלב, תאי לב "נזרעים" בתוך פיגום תלת-מימדי הבנוי מסיבי קולגן. כיוון שהטלאי חשמלי הדבר מאפשר הקלטה של כל הפעילויות החשמליות המתרחשות בתאים של הטלאי, הפעלת תאי הטלאי מרחוק (ע"י שליחת אות חשמלי מעורר) והתכווצות מכוונת בצורה סינכרונית (=מתואמת מבחינת קצב וזמנים), כפי שנדרש בלב. בנוסף ישנם פולימרים ביולוגיים שמגיבים חשמלית אשר מאפשרים שחרור מבוקר של תרופות מאלקטרוזודות שמתקנים על הטלאי אל הלב [16]. לאחר זריעת תאי הלב בהידרו-ג'ל, יוצרים תעלות בג'ל, וזרעים בו תאי אנדוהל ובכך מקבלים "טלאי ביולוגי" ללב או לכלי הדם [17].

הבעיה הראשית ביצירת הטלאי הינה הקושי להזריק אותו, כיוון שהוא יחסית גדול ולכן מסורבל להזריק אותו לגוף. במעבדתו של טל דביר הציעו ליצור טלאי שיכול להיות במצב מקופל וקטנטן בזמן ההזרקה, וניפתח להיות גדול ופרוש למימדים האמיתיים שלו לאחר הגעה אל הלב ולקראת היצמדות אל האזור הפצוע. בעקבות זה הוצע הרעיון ליצור טלאי שבו ג'ל מכיל גם ננו-חלקיקים מגנטיים, שבאמצעותם אפשר לשנות את הצורה של הטלאי על פי הצורך: בנוכחות שדה מגנטי, הננו-חלקיקים המגנטיים נמשכים זה לכיוון זה, והג'ל כולו מתקפל- מה שמקל על ההזרקה ללב. בהיעדר שדה מגנטי, נפתח הקיפול של הטלאי והוא מוכן להיצמדות אל הלב. עם זאת, נכון לעכשיו לא ידוע אם נוכחות החלקיקים המגנטיים בג'ל פוגעת בחיות התאים, כלומר רעילה לתאים, ואם לא רעילה- אולי הפעלת השדה המגנטי עלולה להרוג את התאים. לכן, בימים אלה במעבדה של פרופ' דביר מחפשים דרך לגדל תאים פיברובלסטים בנוכחות ננו-חלקיקים מגנטיים לבחינה ושיפור של הביו-קומפטביליות של הטלאי. לכן בניסוי שלנו שאלת החקר הייתה "השפעת הפעילות של ננו-חלקיקים מגנטיים על חיות תאים פיברובלסטים".

בשלב העלאת ההשערות לגבי הצלחתו של הניסוי, התפצלנו לשתי קבוצות: זוג אחד (ליאור ודולב) שיער שיהיו תאים חיים לאחר חשיפה לשדה מגנטי, וזאת בעקבות ניסוי דומה שבוצע במעבדה, בו לא כל התאים הפיברובלסטים מתו. הזוג האחר (לביא ונווה) שיער שמרבית התאים לא ישרדו את נוכחות החלקיקים, אפילו בהיעדר שדה מגנטי, וזאת משום שמחקרים הראו שננו-חלקיקים מגנטיים מסוג iron oxide עלולים להיות רעילים לתאים פיברובלסטים [20].

## פרק שיטות

**שאלת החקר:** בדיקת השפעת הפעילות של ננו-חלקיקים מגנטיים על חיות תאים פיברובלסטים

**האורגניזם הנחקר:** לצורך הניסוי נלקחו תאים פיברובלסטים שמקורם מעכבר.

השיוך הטקסונומי של עכבר הינו:

**ממלכה:** בעלי חיים

**מערכה:** מיתרניים

**על־מחלקה:** בעלי ארבע רגליים

**מחלקה:** יונקים

**סדרה:** מכרסמים

**משפחה:** עכבריים

**סוג:** עכבר

**המשתנה הבלתי תלוי:** פעילות וריכוז ננו-חלקיקים מגנטיים.

דרך השינוי שלו- על ידי הפעלת שדה מגנטי (בעזרת מגנט).

**המשתנה התלוי:** חיות תאים פיברובלסטים.

דרך המדידה שלו- חושפים את התאים לחומרים פלורסנטיים, שצובעים את התאים בירוק במידה והם חיים, ובאדום במידה והם מתים.

#### **בקרות:**

- **בקרה א (חיצונית שלילית):** הידרוג'ל ללא נוכחות חלקיקים מגנטיים וללא חשיפה לשדה מגנטי. המטרה של בקרה זו היא לוודא שהתאים חיים בתנאי הניסוי באופן כללי וללא טיפול.
- **בקרה ב (חיצונית שלילית):** הידרוג'ל בתוספת חלקיקי iron oxide מגנטיים וללא חשיפה לשדה מגנטי. המטרה של בקרה זו היא לבדוק האם נוכחותם של חלקיקים מגנטיים מורידה את חיות התאים גם ללא שדה מגנטי.

#### **הגורמים הקבועים בניסוי:**

**גודל הבארית (גודל הבארית הוא 3X4 ס"מ) -** במידה ובארית אחת גדולה יותר או קטנה יותר משאר הבאריות, הננו-חלקיקים מתפרשים על שטח יותר גודל/קטן. דבר זה משפיע על צפיפות הננו-חלקיקים ואז השדה המגנטי יהיה חלש/חזק יותר ממה שצריך. זה יכול להשפיע על יעילות הניסוי מכיוון שאם כל טיפול יקבל שדה מגנטי בחוזק שונה, לא נדע מה השפיע על חיות התאים.

**טמפרטורה (37 מעלות צלזיוס) -** במידה ובכל טיפול נעשה טמפרטורת אחרת, אנחנו נוסיף למעשה עוד גורם משפיע, ואז לא נוכל לדעת אם התאים מתו/חיו בגלל השדה המגנטי או בגלל טמפרטורת ההידרוג'ל.

**כמות החומר הפלואורוסצנטי (עד לכיסוי מלא של ההידרוג'ל) -** עבור PI זהו יחס של 1:200 (ז"א שעבור כל 200 מיקרוליטר מדיום שמנו 1 מיקרוליטר מהחומר) ועבור FDA זהו יחס של 1:750. לריכוז גדול מדיי עלולה להיות מידה מסוימת של רעילות, שעלולה להרוג את התאים.

**חזרות:** צילמנו שלוש תמונות מאזורים שונים בכל בארית כדי להעלות את אמינות התוצאות.

## מהלך הניסוי:

**שלב א:** הכנו הידרוג'לים ביולוגיים מגנטיים- 3 ג'לים זהים (שיהוו בהמשך "3 טיפולים נבדקים"), המבוססים כולם על ערבוב התמיסה omentum hydrogel במצב צבירה נוזלי (שמקורה ברקמת שומן בטנית של חזיר כחיית מודל, התמיסה הייתה בריכוז 1%, הוכן במעבדה טרם הניסוי) עם ננו-חלקיקים מגנטיים (שסונתזו טרם הניסוי), ביחסים משקליים מתאימים.

**שלב ב:** ההידרוג'לים עברו את הטיפולים הבאים:

בקרר א (שלילית): 1% omentum hydrogel ללא נוכחות חלקיקים מגנטיים וללא חשיפה לשדה מגנטי. בקרר ב (שלילית): 1% omentum hydrogel בתוספת 5%wt של חלקיקי iron oxide מגנטיים וללא חשיפה לשדה מגנטי. החלקיקים הוספו לכל הבאריות באמצעות מרית. טיפול: 1% omentum hydrogel בתוספת 5%wt של חלקיקי iron oxide מגנטיים, ולאחר אינקובציה עם תאים נעשתה חשיפה לשדה מגנטי (כמפורט בשלב הבא).

**שלב ג:** החומרים הפלואורסצנטיים FDA-fluorescein diacetate ו-propidium iodide. הוספנו יל ידי פיפטור נפח מתאים לכיסוי מלא של ההידרוג'ל מהחומרים הפלורסנטיים לכל בארית, כלומר עבור PI זהו יחס של 1:200 (ז"א שעבור כל 200 מיקרוליטר מדיום שמנו 1 מיקרוליטר מהחומר) ועבור FDA זהו יחס של 1:750 (18). לאחר מכן בוצעה אינקובציה ב- 37 מעלות צלסיוס למשך כחצי שעה באינקובטור ייעודי (בזמן זה, במקביל לאינקובציה עם התאים, הג'ל עובר התמצקות).

**שלב ד:** ביצענו חשיפה לשדה מגנטי של הדוגמה לבדיקת ההשפעה של הפעילות המגנטית של החלקיקים המגנטיים בהידרוג'ל על חיות התאים: צימוד מגנט להוכחה וביצוע התנועה המגנטית של המבנה לאחר התמצקות.

**שלב ה:** בדיקת חיות התאים באמצעות בדיקה פלואורסצנטית (live/dead). התבצעה בחינה תחת מיקרוסקופ פלואורסצנטי של התאים, כאשר תאים שצבועים בירוק הינם תאים חיים, בעוד שתאים הצבועים באדום הינם תאים מתים. התבצעה השוואה בין הדוגמאות השונות, להסקת מסקנות.

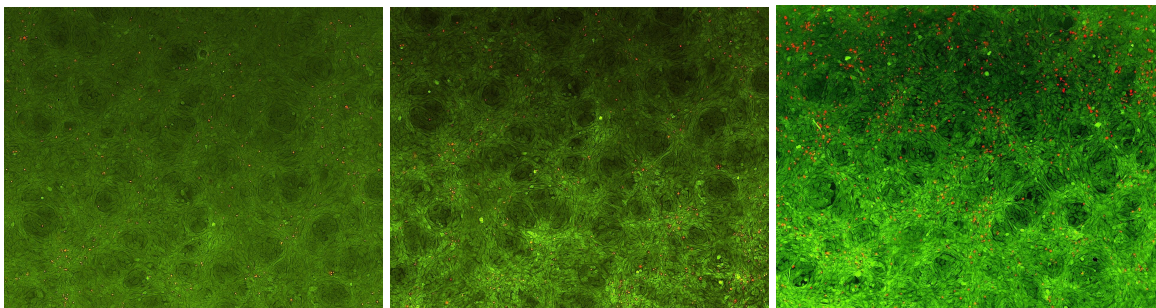
## פרק תוצאות

כאמור, מטרת הניסוי שלנו הייתה לבדוק האם פעילות ננו-חלקיקים מגנטיים משפיעה על חיות תאים פיברובלסטים. בכל התמונות המוצגות להלן ניתן לראות חלקיקים מגנטיים, תאים פיברובלסטים והידרוג'ל. החלקיקים המגנטיים נראים כגושים שחורים, התאים נראים כנקודות הצבועות בירוק ובאדום. ההידרוג'ל הוא הרקע הירוק (קולט את הצבע עקב אוטו-פלואורסצנציה). ניתן להיווכח בכל התמונות בפיזור לא אחיד של התאים על גבי הג'ל (כלומר גם לאחר 4 ימי אינקובציה של התאים בתוך הג'ל אין כיסוי מלא של השתל בתאים). כמו-כן רואים פלואורסצנציה בעוצמות שונות,

המעידה על הימצאות תאים במישורים שונים. גם ניתן להבחין כי פיזור החלקיקים אינו אחיד בתוך הג'ל, וקיימים צברים של חלקיקים מגנטיים בתוך הג'ל.

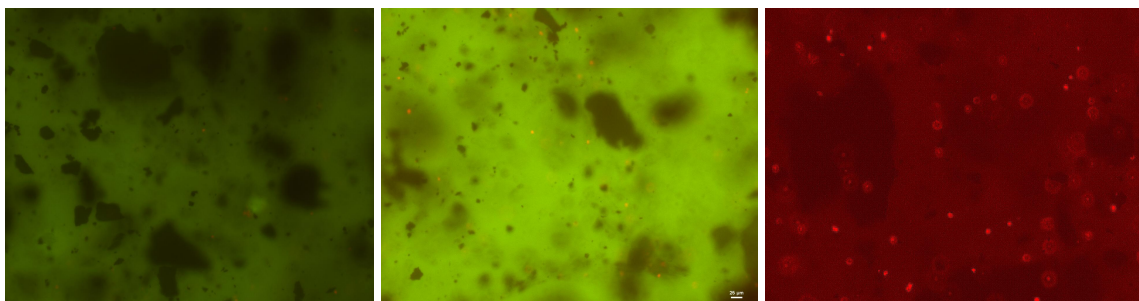
### בקרה א

להלן שלוש התמונות מבקרה א. כפי שרואים בתמונות, ללא חלקיקים מגנטיים וללא חשיפה לשדה מגנטי מספר התאים החיים רב יותר ממספר התאים המתים. כמו כן ניתן לראות כי ישנה שונות מסוימת בין החזרות, כלומר בין התמונה משמאל ובאמצע ביחס לתמונה מימין, אך בכל שלוש החזרות מספר התאים החיים רב יותר ממספר התאים המתים.



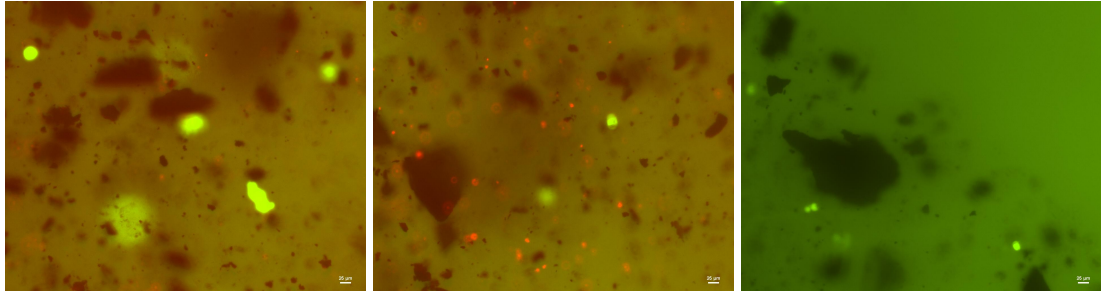
### בקרה ב

להלן שלוש התמונות מבקרה ב. כפי שרואים בתמונות, בנוכחות חלקיקים מגנטיים וללא חשיפה לשדה מגנטי מספר התאים החיים נמוך יותר בהשוואה לבקרה א. לצערנו בתמונה השמאלית והאמצעית קשה לראות את התאים החיים על פני הרקע הירוק, אך אפשרי. בתמונה מימין בלתי ניתן לראות תאים חיים מכיוון שבתמונה זו הגדרנו מראש במיקרוסקופ פילטר שמראה רק את התאים המתים (בעצת המדענית). כאמור, למרות הקשיים הטכניים הנ"ל ניתן לראות שמספר התאים החיים נמוך יותר בהשוואה לבקרה א.



## טיפול

להלן שלוש התמונות מהטיפול. כפי שרואים בתמונות, בנוכחות חלקיקים מגנטיים ולאחר חשיפה לשדה מגנטי, מספר התאים החיים נמוך יותר ביחס לשתי הבקורות. בתמונה השמאלית והאמצעית ניתן לראות גם תאים מתים וגם תאים חיים, אף על פי שבתמונה האמצעית רואים יותר תאים מתים. בתמונה מימין רואים שני אזורי חלקיקים מגנטיים ושני תאים חיים בלבד, ולכן בחרנו שלא להתבסס עליה בתיאור התוצאות ובהסקת המסקנות.



## פרק דיון

מטרת הניסוי שלנו הייתה לבדוק האם פעילות ננו-חלקיקים מגנטיים משפיעה על חיות תאים פיברובלסטים, על מנת ליצור בעתיד טלאים ביולוגים המשלבים חלקיקים מגנטיים. כפי שהוצג בפרק התוצאות, ראינו שגם ללא חלקיקים מגנטיים או שדה מגנטי קיימת תמותה של התאים, כחלק מתהליך ההתחלקות שלהם בתוך ההידרוג'ל, בעל נפח מוגדר. כאשר חושפים את התאים לחלקיקים מגנטיים וללא הפעלת שדה מגנטי (בקרה ב) שיעור התמותה שלהם גדל בהשוואה להיעדר חלקיקים אלו, ואף יותר אם מפעילים עליהם שדה מגנטי. עם זאת, ראינו כמות מסוימת של תאים חיים גם לאחר הטיפול. לדברי המדענים במעבדתו של פרופ' דביר, "הצלחה" בניסוי מסוג זה משמעה קבלת מעל 85% תאים חיים. עוד לפני הניסוי, בשלב העלאת השערות, שיערנו שלא נצליח להגיע לכמות הזאת של תאים חיים. עם זאת, התפצלנו לשתי קבוצות מבחינת מיקוד ההשערה: זוג אחד שיער שיהיו תאים חיים (פחות מ-85%) לאחר חשיפתם לשדה מגנטי (ליאור ודולב), בעוד זוג אחר שיער שמרבית התאים בכלל לא ישרדו את נוכחות החלקיקים, אפילו בהיעדר שדה מגנטי (לביא ונווה). הזוג הראשון שיער שיהיו תאים שעדיין חיים בעקבות הניסוי הקודם שבוצע במעבדה, בו לא כל התאים הפיברובלסטים מתו. הזוג השני שיער שהתאים ימותו בנוכחות החלקיקים בגלל שמחקרים הראו שננו-חלקיקים מגנטיים מסוג iron oxide רעילים לתאים פיברובלסטים [20]. התוצאות שקיבלנו הפריכו את ההשערה של נווה ולביא שנוכחות החלקיקים המגנטיים בתוך ההידרוג'ל תוביל ל-100% תמותה של התאים. מנגד ניתן לראות אישוש של ההשערה של ליאור ודולב- שיהיו תאים חיים גם לאחר חשיפה לשדה מגנטי, כי אכן ראינו תאים חיים לאחר הפעלת שדה, אך עם זאת, כמות התאים החיים הייתה נמוכה בהשוואה לבקורות, ולכן אנו מסיקים שההשפעה של הננו חלקיקים מגנטיים על חיות התאים הפיברובלסטים היא שלילית.

כפי שהוצג בפרק התוצאות, ראינו שגם ללא חלקיקים מגנטיים או שדה מגנטי (בקרה א) שיעור התמותה של התאים היה יחסית גבוה. סיבה אפשרית לכך היא שרמת הצפיפות של התאים בניסוי היתה גבוהה מדי וגרמה למוות של תאים רבים. הסבר אפשרי לעובדה שהיו הרבה תאים מתים בנוכחות החלקיקים וללא שדה מגנטי (בקרה ב) הוא שצברים של חלקיקים מגנטיים יצרו לחץ נוסף על התאים בתהליך החלוקה והגדילה שלהם בתוך ההידרוג'ל, וגרמו לתמותה מוגברת (כאמור בפרק התוצאות, ראינו צברים של חלקיקים מגנטיים בתוך הג'ל). כלומר לדעתנו כאשר התאים התחלקו וגדלו במרחב מוגבל, ונוסף הלחץ שנוצר בגלל צברי החלקיקים המגנטיים, רבים מהם מתו. ישנה אפשרות שהתאים היו בשלבי התפתחות שונים, מה שגרם להשפעה שונה של החלקיקים והשדה המגנטי על התאים (רק חלקם מתו). למשל, תא גדול שנמצא רגע לפני חלוקה אולי הושפע פחות מהלחץ מאשר תא קטן שרק נוצר. בהמשך, אנחנו מציעים לעבוד עם ריכוז תאים נמוך יותר שימנע התפתחות תאים במרחב מוגבל, ו/או ריכוז חלקיקים נמוך יותר כך שיהיה לתאים יותר מקום להתחלק ולגדול ללא לחץ נוסף עליהם. בנוסף, כפי שהציעו לנו במעבדה, בעתיד כדאי לנסות לשפר את הפיזור של החלקיקים בג'ל ע"י יצירה של ציפוי פולימרי שימנע מהחלקיקים להתגבש, כך שהניסוי הבא יכלול השוואה בין ג'ל המכיל חלקיקים מגנטיים ללא ציפוי לעומת ג'ל מגנטי המכיל חלקיקים מצופים.

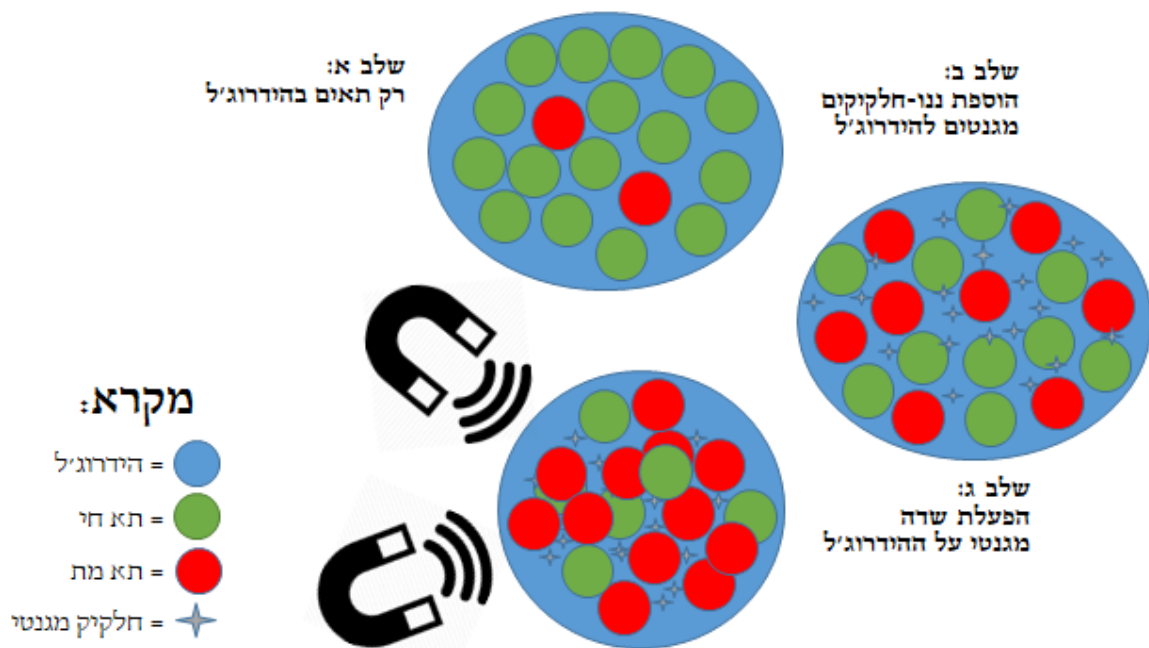
בניסוי שלנו הייתה הקפדה על הגורמים הקבועים, אך עם זאת, אנחנו חושבים שהניסוי לא מהימן מספיק מכמה סיבות: צילמנו מכל בארית שלוש תמונות מאזורים שונים. לדעתנו דרך זו לא מדויקת מספיק מכיוון שכפי שניתן לראות בתמונות וכפי שהסברנו לעיל, פיזור וריכוז החלקיקים המגנטיים ביחס לתאים הפיברובלסטים בהידרוג'ל לא היה אחיד באזורים שונים בבארית. בנוסף, ניתן להיווכח בכל התמונות גם בפיזור לא אחיד של התאים על גבי הג'ל, וגם בנוכחות פלואורוסנציה בעוצמות שונות, המעידה על הימצאות תאים במישורים שונים. לדברי המדענית זהו פועל יוצא של שימוש בנפח גבוה מדי של דגימות הידרוג'ל בכל בארית, ועל כן מסקנה חשובה לקראת הניסויים הבאים היא הורדת נפח דגימות ההידרוג'ל כך שיהיה רק מישור אחד שבו התאים יוכלו לחיות, ואז יהיה אפשרי לקבל צילומים מהימנים יותר. בנוסף, לדעתנו צריך לבצע כל אחד מהטיפולים והבקורות בשלוש באריות נפרדות, כלומר חשוב לעשות חזרות ברורות על כל טיפול ובקרה בשביל למנוע השפעה של תקלות טכניות וטעויות אנוש (כמו ערבוב לא טוב מספיק של החלקיקים בהידרוג'ל) בשלב הסקת המסקנות. הצעה נוספת שלנו היא לעשות מרחק גדול יותר בין הבאריות בשביל למנוע את הסיכוי שהבארית שלא אמורה להיחשף לשדה מגנטי תיחשף לשדה מגנטי.

הניסוי שלנו בדק השפעת שדה מגנטי על תאים, היות שתגובת תאים לשדה מגנטי ידועה ביצורים שונים. למשל, ישנם יצורים חד-תאיים המכונים magnetotactic bacteria - בקטריות בעלות יכולת חישה (משיכה או דחייה) של שדות מגנטיים. חיידקים אלו התגלו בשנות ה-60 והם מסוגלים להסתדר ע"פ הקווים של שדות הכוח המגנטיים של כדור הארץ. התהליך של זיהוי השדה המגנטי מתרחש באברון הקרוי מגנטוזום (magnetosome); זהו אברון מבודד בתוך הסביבה התאית בגלל התהליכים הכימיים המתרחשים בתוכו המסוגלים לפגוע בתא. בבעלי חיים מורכבים העניין מעט יותר מסובך, אך די ברור כי לפחות לחלק מבע"ח החיים יש יכולת חישה למגנטיות. יש גם שם לתכונה - Magnetoception (מגנטוספטיות) ושם לקולטן התיאורטי החש במגנטיות - Magnetoreceptor (מגנטורצפטור). התופעה נצפתה לרוב בציפורים, בעיקר ציפורים נודדות, אך יש עדויות רבות גם בדבורים, צבים, חולדות ועכברים אשר עבדנו עם תאיהם.



עבודתנו קשורה בכמה רמות ארגון, למשל רמת המולקולה (עבדנו עם מולקולה מגנטית), רמת התא (עבדנו עם תאים פיברובלסטים) ורמת האיבר (חקרנו על פתרונות למחלות באיבר הלב). באופן ספציפי בדקנו איך מולקולה מגנטית משפיעה על חיות של תא פיברובלסטי. במידה והניסוי הזה יהיה מוצלח, הוא ישפיע רבות על הדרך בה נעזרים בתאים על מנת לרפא רקמה ובעקבותיה איבר, ואף יצור חי שלם- אדם. דבר זה יקצר את התור להשתלות ועשוי להאריך חיי אדם בצורה משמעותית.

## ייצוג גרפי:



## ביבליוגרפיה:

1. [אורח חיים בריא ותזונה נבונה - יוטיוב, 25.5.16](#), פרופסור חיים יוספי
  2. [10 דברים שכדאי לדעת על הלב- האיגוד הקרדיולוגי בישראל, דוקטור חיים סילבר](#)
  3. [לב העניין: מה אנחנו יודעים על מחלות לב - 6.10.16](#), מיטל יסעור בית-אור
  4. [מצב הלב של אזרחי ישראל 2019 - סקר האיגוד הקרדיולוגי בישראל](#)
  5. [ספורט ומוטיבציה - יוטיוב, 13.12.16](#), ד"ר עמי שיינפלד
  6. [תאי לב שגודלו מתאי גזע מושרים ישמשו מודל לבדיקת השפעת תרופות לאיזון קצב הלב - 14.8.18](#)
- [הידען](#)
7. [תאי גזע יכולים לשקם את רקמת הלב - 28.11.03](#), הידען
  8. [הטיפול הרגנרטיבי בשריר הלב הצלקתי - המרכז הרפואי תל אביב](#)
  9. [מהו גורם התמותה מספר אחת בעולם? - 18.10.07](#), "דה מארקר"
  10. [השתלת לב- טיפול, הסיכונים והתהליך - infomed](#)
  11. [ניתוח השתלת לב - מרכז הלב ע"ש אולגה ולב לבייב לב, חזה וכלי דם](#)

- 12. [1,138 ממתנים להשתלות איברים בישראל ב־2018 - 19.04.18, שירלי שני, כלכליסט](#)

- 13. [A Stretchable and Flexible Cardiac Tissue – Electronics Hybrid Enabling Multiple Drug Release, Sensing, and Stimulation - Ron Feiner, Lior Wertheim, Danielle Gazit Or Kalish, Gal Mishal, Assaf Shapira, Tal Dvir, NANO MICRO small, Volume15, Issue14 April 5, 2019 1805526, Wiley Online Library](#)
- 14. [Modular assembly of thick multifunctional cardiac patches - Sharon Fleischer, Assaf Shapira, Ron Feiner, and Tal Dvir, PNAS, February 6, 2017](#)
- 15. [3D Printing of Personalized Thick and Perfusable Cardiac Patches and Hearts -Nadav Noor, Assaf Shapira, Reuven Edri, Idan Gal, Lior Wertheim, Tal Dvir, ADVANCED SCIENCE, Volume6, Issue11, Wiley Online Library](#)
- 16. [Engineered hybrid cardiac patches with multifunctional electronics for online monitoring and regulation of tissue function - Ron Feiner, Leeya Engel, Sharon Fleischer, Maayan Malki, Idan Gal, Assaf Shapira, Yosi Shacham-Diamand, and Tal Dvir, Nat Mater. 2016 Jun; 15\(6\): 679–685](#)
- 17. [Channeled ECM-Based Nanofibrous Hydrogel for Engineering Vascularized Cardiac Tissues - Smadar Arvatz, Lior Wertheim, Sharon Fleischer, Assaf Shapira, Tal Dvir, PMC, 2019 May 2.](#)
- 18. [Live/dead staining with FDA and PI - Application Note 33 ibidi GmbH, Version 2.0, 25. November 2015](#)
- 19. [האם יש לשדה המגנטי של כדור הארץ השפעה על בעלי חיים? -מכון דוידסון, 4.9.09, מאיר ברק.](#)