



אתיקה של רובוטים וזרוע תותבת בשליטה של הגידם

שתי ידיעות מדעיות משוודיה עוסקות בהיבטים אחרים בסוגיות רובוטיקה וממשק אדם רובוט. היוזמה האירופית לחיקוי המוח במחשב-על, ויישום קטן של שליטת המוח האנושי על זרוע רובוטית

ושער לוגי מסוג NOT (התקן גנטי אשר מאבחן את נוכחותו של גורם שעתוק אחד, ומייצר אור ירוק אך ורק אם הוא אינו נוכח בתא החיידק). תוצאות המחקר, שהשתתפו בו גם תלמידי המחקר יוני דואק ולילך מילוא, התפרסמו באחרונה בכתב-העת המדעי Scientific Reports. בעקבות התוצאות המוצלחות בתאי חיידקים, מתכננים החוקרים להמשיך לבחון כיצד אפשר לתכנת ול"לגייס" את החיידקים כמערכת יעילה ונוחה לתפעול למטרות רפואיות, שאפשר יהיה גם להחדיר אותה בקלות לגוף האדם (באופן טבעי, בגוף האדם יש פי עשרה תאי חיידקים מתאים אנושיים). מטרה נוספת היא הפעלת מערכת דומה בתוך תאים אנושיים - שהם מורכבים בהרבה מתאי חיידקים.

מכונות סינתטיות, מולקולות ביולוגיות

במחקר אחר שנעשה במעבדתו של פרופ' שפירא הצליחו המדענים ליצור "מכונה" סינתטית עשויה ממולקולות ביולוגיות ולתכנת אותה כך, שתזהה רצף מסוים של די-אן-אי המצוי בתוך תאים חיים, ותשמיד תאים המכילים רצף שגוי. המדענים מאמינים, כי הרעיון המונח בבסיס המכונה החדשה עשוי להוביל לפיתוח שיטות אבחון חדשות ורגישות ביותר, ולהוות צעד חשוב במאמץ המתמשך ליצור ממשקים בין מולקולות ביולוגיות וסינתטיות.

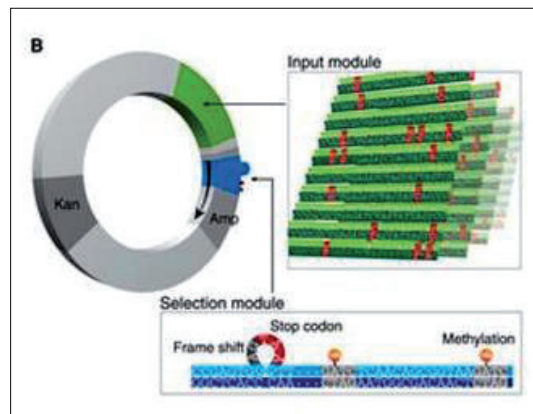
ד"ר תובל בן יחזקאל ותמיר

ביזנור, ממעבדתו של פרופ' שפירא, יצרו שורה של עותקים של מכונות המבוססות על די-אן-אי. הממצאים, שהתפרסמו באחרונה בכתב-העת המדעי PLoS One, משלבים היבטים של שני תחומי מחקר צעירים יחסית: ביולוגיה סינתטית ומיחשוב ביולוגי. בעזרתם של המנגנונים הטבעיים מתנהג המכשיר הסינתטי כמו גרסה פשוטה של מחשב: הקלט הוא רצף די-אן-אי של התא - אשר עשוי להיות נכון או להכיל טעויות, וזה מעובד לשם קבלת פלט - במקרה זה, שמירה של התא או השמדה שלו. "מחקרים עתידיים בכיוון זה עשויים להוביל לשילוב מכשירים מד-אן-אי מלאכותי בסביבות תאיות מורכבות עוד יותר, כמו יצורים רב-תאיים", אומר פרופ' שפירא. "התפתחות כזו עשויה להוביל לשורה ארוכה של יישומים".

במחקר אחר שנעשה במעבדתו של פרופ' שפירא הצליחו המדענים ליצור "מכונה" סינתטית עשויה ממולקולות ביולוגיות ולתכנת אותה כך, שתזהה רצף מסוים של די-אן-אי המצוי בתוך תאים חיים, ותשמיד תאים המכילים רצף שגוי

עתיד הרחוק - כך מקווים מדענים - יסתובבו מחשבים זעירים בתוך גופנו, כשהם מצוידים בידע רפואי, וזהו מחלות בשלביהן הראשוניים ויטפלו בהן בו במקום על-ידי שחרור תרופה מתאימה - ללא התערבות חיצונית. כדי שהחזון הזה יקרום עור וגידים, המחשבים צריכים להיות די קטנים כדי להיכנס לתוך תאי הגוף. בנוסף, עליהם לדעת "לדבר" עם המערכות השונות בתא. הדרך היעילה ביותר להתמודד עם שני האתגרים האלה היא ליצור מחשבים המבוססים על מולקולות ביולוגיות, כמו די-אן-אי או חלבונים. אין זה רעיון מופרך, שכן יצורים ביולוגיים התפתחו כך שיוכלו לקלוט מידע,

לעבד אותו ולהגיב אליו - באופן המזכיר את פעולתו של מחשב. מדענים ממכון ויצמן למדע עשו באחרונה צעד חשוב בכיוון זה, כאשר הצליחו לפתח התקן גנטי עצמאי, אשר פועל בהצלחה בתוך תאי חיידקים. ההתקן תוכנת כך שיאבחן פרמטרים מסוימים ויגיב עליהם בהתאם. ההתקן שיצרו המדענים - פרופ' **אהוד שפירא** וד"ר **תום רן**, מהמחלקה לכימיה ביולוגית ומהמחלקה למתמטיקה שימושית ומדעי המחשב - בוחן את נוכחותם של גורמי השעתוק, חלבונים המווסתים את ביטוי הגנים בתא. במקרים רבים, בעקבות פעילות לא תקינה של גורמים אלה, משתבש ביטויים של גנים שונים, דבר שמוביא להתפתחות מחלה. כך, לדוגמה, בתאים סרטניים משתבשים



"מכונת הדי-אן-אי" מורכבת ממערך קלט (בירוק) המכיל עותקים רבים של אותו גן ורצף המבצע את ה"החלטה" (בכחול), שהוחדר באמצעו של גן עמידות לפניצילין (אפור)

הגורמים המווסתים את הגדילה ואת החלוקה, דבר שמוביא לחלוקת תאים מוגברת ולהיווצרותו של גידול. ההתקן - אשר עשוי מרצף די-אן-אי שהוחדר לחיידק על-גבי פלסמיד - מבצע מעין "בדיקת נוכחות" של גורמי השעתוק. אם תוצאות הבדיקה תואמות את הפרמטרים שתוכנתו בו מראש, הוא מגיב ביצירת חלבון הפולט אור ירוק - וכך מספק חייוי חיצוני לאבחון ה"חיובי". במחקרי המשך, הכוונה היא להחליף את החלבון הפולט אור ירוק בחלבון שישפיע על עתיד התא, כמו, לדוגמה, חלבון שיגרום לתא להתאבד. כך ינווט ההתקן אל מותם אך ורק של תאים שאובחנו באופן "חיובי".

ההתקן הראשון שיצרו המדענים הוא למעשה שער לוגי מסוג NOR: התקן זה מתוכנת לבדוק את נוכחותם של שני גורמי שעתוק ולהגיב ביצירת אור ירוק אך ורק אם שני הגורמים אינם נמצאים בתא. ואכן, כאשר החדירו המדענים את ההתקן לארבעה סוגי חיידקים מהונדסים גנטית - סוג שמייצר את שני גורמי השעתוק, סוג שאינו מייצר אף אחד מהם, ושני סוגים שכל אחד מהם מייצר רק אחד מהגורמים - זרחו בירוק רק תאי החיידקים הנכונים. בהתבסס על ההתקן הגנטי הראשון יצרו בהמשך המדענים התקנים גנטיים מורכבים יותר, המיישמים שערים לוגיים מוכרים מעולם הנדסת האלקטרוניקה: שער לוגי מסוג AND (התקן גנטי, המתוכנת לאבחן ולייצר אור ירוק אך ורק אם שני גורמי השעתוק נמצאים בתא), שער לוגי מסוג OR (התקן גנטי המתוכנת לאבחן ולייצר אור ירוק אך ורק אם לפחות אחד מגורמי השעתוק נוכח,