

100
השנים
הבאות
הגוף

מי בתור להדפסת לב?

לרופאי העתיד יהיו הרבה יותר כלים להתמודד עם המחלות של היום. ההתקדמות המהירה של המחקר והטכנולוגיה, שימוש ברובוטים, תרופות חכמות והתערבויות גנטיות, כולם מלאי חזון ותנופה, מרמזים שלא רחוק היום שהמושג "גוף האדם" יקבל משמעות חדשה

מאת **עידו אפרתי**

צילום: תומר אפלבוים

נרובוטים שמטיילים בגוף, מנטרים אותו בקביעות ומבצעים התערבות טיפולית באופן עצמאי. מערכות בינה מלאכותית שלומדת אותנו מתוך הררי מידע. רפואה גנטית וטיפול מותאם אישית ברמת התא. מחשבים שמפענחים בדיקות סי-טי ואם-אר-איי בתוך דקות. יצירת רקמות ואיברים להחלפה במעבדה. הדפסת איברים. טיפולים מעכבי הודקנות. לחידור שים הללו, כמו לעוד רבים נוספים, יש כבר היום עוגנים במחקר ובפיתוח הרפואי. זהו אולי רמז לעתיד, אבל כשמדובר ברפואה הניסיון לשרטט קורים לדמותה של "רפואת העתיד" מתעתע. קצב ההתקדמות של המחקר והטכנולוגיה, בכל חזית רפואית כמעט, מהיר ומפתיע כל כך, עד שכל תרחיש לגבי, גם הנועז ביותר, מתקבל על הדעת. ההתקדמות המדעית והטכנולוגית, כמו גם הגידול הדמוגרפי והתארכות תוחלת החיים, צפויים לגרום לכך שבתוך כמה עשורים נחיה בעולם רפואי שונה באופן מהותי מזה המוכר לנו היום. מושגים כמו "מחלה", "ריפוי", "הודקנות", "איכות חיים", "פרטיות" או "גוף האדם" ייטענו במשמעויות חדשות. ביקשנו לשמוע משמונה רופאים וחוקרים בכירים את התובנות שלהם לגבי אתגרי העתיד הגדולים של הרפואה.

רפואת הסרטן

ניהול נכון של המחלה

אהרון צ'חנובר, חתן פרס נובל לכימיה, פרופסור-חוקר בטכניון

תמונת מצב

"עד לפני כשני עשורים היינו מטפלים במחלה בלי להבין את שורשיה כמעט. כשהיה מתגלה גידול, הטיפול היה ניתוח להוצאתו, אם אפשר, וטיפול הקרנות וכימותרפיה, שהם אגרסיביים מאוד, פוגעים ברקמות בריאות ויש להם תופעות לוואי קשות", אומר פרופ' אהרון צ'חנובר. מחלת הסרטן - שם כולל למאות סוגי מחלות - היא אחד האתגרים הגדולים של המחלה קר הקליני. היא גורם התמותה הראשון ביש ראל ובין המובילים במדינות העולם המערבי. כ-10,000 ישראלים מתים מדי שנה מסרטן, רבע ממקרי התמותה בארץ. אחרי שנים ארוכות שבהן עמד המדע בפני מבוי סתום ועם ארגון כלים טיפולי מצומצם, אגרסיבי ומוגבל ביעילותו, האלף השלישי הביא עמו בשורות.

התפתחויות

"בשנת 2000, עם השלמת ריצוף הגנום האנושי, נסללה הדרך להתקדמות משמעותית. הטכנולוגיה של ה"דנ"א נתנה דחיפה רוחבית אדירה לרפואה - לא רק בסרטן, גם במחלות רבות אחרות. בזכותה אנחנו יודעים לרדת לשורש הבעיה של הסרטן", אומר פרופ' צ'חנובר. השתכללות הטכנולוגיה ויכולות הריצוף הגנטי הולידו בעשור האחרון שורה של טיפולים ותרופות מתקדמות ומונחות מטרה, המבוססות על פרופיל גנטי ומולקולרי של הגידול עצמו. אלו הם צעדיה הראשונים של תפישת "הרפואה המותאמת אישית", שמוכרת באופן תדיר בהקשר האונקולוגי. טיפולי ההקרנות והכימותרפיה הם עדיין נתח מרכזי מהרפואה האונקולוגית, אבל הארסנל הטיפולי בחולי סרטן מתרחב משנה לשנה וכולל כבר

גם בתחום הפתולוגיה התחוללה קפיצת מדרגה דרמטית, וכיום יכולות המעבדות לספק אפיון גנטי ומולקולרי של גידולים סרטניים על סמך ניתוח של דגימת הגידול ואפילו בדיקות דם. בשנת 2017 אישר לראשונה מינהל המזון והתרופות האמריקאי (FDA) שימוש בתרופה האימור-נותרפית קיטרודה לטיפול ב-15 סוגי סרטן, על סמך מאפיינים גנטיים של הגידולים, ללא קשר ל"איבר המקור" של המחלה.

ברקע ממשכיים המדענים לחפש עוד ועוד אפיונים גנטיים ונקודות תורפה של תאי סרטן. חלק ממנגנוני הפעולה של מחלות הסרטן, שחשפים במקרי השנים האחרונות, מראים כי צד מצליחה המחלה לגייס מערכות רבות בגוף, ולהערים על אחרות, כדי להמשיך ולשגשג. אלה מעידים עד כמה מתוחכמת ומורכבת המחלה, שמציבה אתגרים חדשים להמשך.

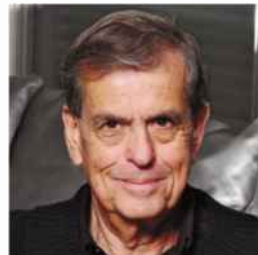
תחזית לעתיד

"השאיפה היא להפוך את הסרטן למחלה כרונית ולשפר את יכולת המניעה שלו", אומר פרופ' צ'חנובר. להערכתו, השנים הקרובות יאופיינו בטיפולים חדישים, דוגמת האימונו-תרפיה או טיפול תאי, ומציאת השילוב המיטבי לניהול נכון של המחלה. בעתיד הרחוק יותר, הוא מעריך, יצטבר די ידע כדי לטפל בסרטן כמחלה כרונית, שאפשר לחיות איתה באיכות חיים מספקת.

עם זאת, טוען צ'חנובר, "גם אם נבין טוב יותר את המחלה ונפתח עוד ועוד טיפולים, בסופו של דבר גוף האדם הוא מערכת ביולוגית

טיפולים מתקדמים, חכמים וממוקדים יותר. בכלל זה תרופות ביולוגיות, שיודעות לשכב את פעילותם של תאי הסרטן ולהביא לחיסולם באמצעות פגיעה במסלולים המטבוליים של התאים, שיבוש יכולת העברת הסיגנלים שלהם ומנגנונים נוספים.

בשנת 2014 אושרו תרופות ראשונות ממשפחת האימונו-אונקולוגיה, המבוססות על התערבות במערכת החיסון, לטיפול במלנומה גרוורתית ובהמשך לטיפול בסרטן ריאות. בתוך זמן קצר התווספו תרופות מאותה משפחה, והשימוש בהן התרחב לסוגי סרטן נוספים. מנגנון הפעולה של התרופות ממשפחת האימור-נותרפיה מבוסס על הפעלת "מתגים" של מערכת החיסון, שמעוררים את פעילותה, גורמים לה לזהות את תאי הסרטן ולתקוף אותם.



אהרון צ'חנובר צילום: דן פורג

שנמצאת בעומס תמידי, עם כושר עבודה שאין דומה לו בעולם החי. קשה להעריך כמה ניתן להעמיס עוד על אותה מערכת. מבחינה זו, ייתכן שריפוי סוג אחד של סרטן יגרוור מפולת של סוגי סרטן אחרים".

100
השנים
הבאות
הגוף

מי בתור להדפסת לב?

לרופאי העתיד יהיו הרבה יותר כלים להתמודד עם המחלות של היום. ההתקדמות המהירה של המחקר והטכנולוגיה, שימוש ברובוטים, תרופות חכמות והתערבויות גנטיות, כולם מלאי חזון ותנופה, מרמזים שלא רחוק היום שהמושג "גוף האדם" יקבל משמעות חדשה

מאת **עידו אפרתי**

צילום: תומר אפלבאום



צילום: טל בורשטיך כהן

**פרופ' אהוד כהן: "הטיפול
באלצהיימר יורכב מסוג של
קוקטייל תרופתי שיטפל בכמה
ביטויים שונים של המחלה
ובתהליכי הזדקנות המוח. בתוך
שניים או שלושה עשורים,
השילוב של גילוי ואבחון
מוקדם עם טיפול מותאם
יאפשר תוחלת חיים מלאה
עם תפקוד קוגניטיבי תקין"**

הופעת תסמינים חיצוניים. ההערכה היא שבע-תיד יבוצעו בדיקות סקר בגיל צעיר - שכוללות בדיקות הדמיה, גנטיקה וקוגניציה, ויוכלו לזהות את המחלה בשלבים מוקדמים, מוסיף כהן. "אני חושב שאלצהיימר היא לא מחלה אחת ובעתיד נראה תת-סיווגים שלה ולא יהיה טיפול אחת. הטיפול יורכב מסוג של קוקטייל תרופתי שיטפל בכמה ביטויים שונים של המחלה ובתהליכי הזדקנות המוח. אני מעריך שנדע יותר גם בנושא המניעה והתרומה של הסביבה ושל אורח החיים להתפתחות אלצהיימר, כך שבתוך שניים או שלושה עשורים השילוב של גילוי ואבחון מוקדם עם טיפול מותאם יאפשר תוחלת חיים מלאה עם תפקוד קוגניטיבי תקין".

אלצהיימר

לעכב את הזדקנות המוח

פרופ' אהוד כהן, ראש המרכז לחקר מחלות המוח של האוניברסיטה העברית והדסה

תמונת מצב

"ארגו הכלים שיש כיום לרפואה להציע לחרים לים במחלות ניווניות של המוח הוא דל מאוד", אומר פרופ' אהוד כהן. "במחלות של כשל מוטורי, דוגמת פרקינסון, יש מעט יותר טיפולים יעילים, אבל בכל מה שקשור למחלות שגורמות לפגיעה בתפקודים קוגניטיביים, היכולת לטפל מועטה. הטיפול כיום הוא נסימפטומים, בין השאר בתרופות פסיכיאטריות. הוא לא מטפל במחלה, אלא נועד לנסות ולשמר מסיימת את איכות החיים של המטופל, וההצלחה חלקית מאוד. לאורך השנים הושקעו המון משאבים מחקרניים באלצהיימר, אבל עד כה המחלה קר נחל כישלון מוחלט כמעט. זה חלק מכישלון קולוסלי בפיתוח טיפול במחלות השיטיון (דמנציה) באופן כללי".

ידוע שהביטוי הנורו-ביולוגי המובהק ביותר של התפתחות אלצהיימר הוא הצטברותם של חלבונים במוח, שבמצב תקין אמורים להיות מסורקים ממנו. המוכר שבהם הוא הבטא-עמילואיד. החלבון נצבר בתאי המוח וביניהם ויצר שכבה שנקראת "פלאק", שפוגעת במבנה התקין של תאי העצב וגורמת באופן הדרגתי למותם. במשך שנים רבות, חקר הבטא-עמילואיד הוא ענף מרכזי בחקר האלצהיימר.

התפתחויות

לדברי פרופ' כהן, ההסתמכות של המחקר על "השערת העמילואיד" וחקר הבטא-עמילואיד מתחילים להתגלות ככיוון שגוי. "מחקרים כיום מראים שגם סילוק החלבון מהמוח לא עוצר את המחלה". לפיכך, הוא מסביר, החיפוש אחר גורמי המחלה מתרחב למחזות חדשים. "אחת התפישות שהולכות ומחלחלות היא חיפוש דרכים לשימור המוח במצב צעיר. אנחנו יודעים שבגילים צעירים אין סימני מחלה, ולכן המחשבה היא איך להאט את התהליכי הזדקנות של המוח". במעבדה שלו מתקיימים מחקרים ראשוניים בעבריים בהתאם לאותה השערה. המחקר גם פונה לחיפוש קשרים בין פעילות מערכת החיסון למחלה, לניתוח של מאפיינים גנטיים ולאתור קבוצות גנים שיש להם תפקיד בה; אלצהיימר על רקע היסטוריה משפחתית מאפיין רק אחרים זים בודדים מהחולים.

תחזית לעתיד

"מוכן ומוסכם על כולם שאנחנו צריכים לטפל במחלות ניווניות מוקדם ככל שניתן, עוד לפני

100
השנים
הבאות
הגוף

מי בתור להדפסת לב?

לרופאי העתיד יהיו הרבה יותר כלים להתמודד עם המחלות של היום. ההתקדמות המהירה של המחקר והטכנולוגיה, שימוש ברובוטים, תרופות חכמות והתערבויות גנטיות, כולם מלאי חזון ותנופה, מרמזים שלא רחוק היום שהמושג "גוף האדם" יקבל משמעות חדשה

מאת **עידו אפרתי**

צילום: תומר אפלבאום

"כיום יש כבר יותר מ-50 ננו-תרופות מאושרות לאבחון ולטיפול במחלות שונות, בעיי קר לסרטן, מחלות זיהומיות, סוכרת, ראומטואיד ארטריטיס ומחלות הקשורות בחסר בחלבון מסוים", אומרת פרופ' סצ'י-פאינרו. "כיום מתנהלים יותר ממאה ניסויים קליניים הכוללים ננו-חומרים המוכילים תרופות כימיות יחידות, שילובים של מספר תרופות, נוגדנים וחלבונים אחרים, רצפי רנ"א משתיק - שמונע ביטוי של גן - מיקרו-רנ"א ועוד. בארבע השנים האחרונות נרשמה תפנית משמעותית בתחום, עם תחילת הפיתוח של ננו-תרופות וננו-חיסונים לטיפול פוליס אימונותרפיים, שיכולים לגרום להפעלה ממוקדת של חלקים במערכת החיסון. כל התחום הזה נמצא בפיתוח במעבדות רבות, המשמשות בכלים טכנולוגיים חדישים וייחודיים".

כחודש שעבר דיווחו סצ'י-פאינרו ועמיתיה בכתב העת "Nature Nanotechnology" כי פיתחו סוג של חיסון לסרטן עור מסוג מלנומה המבוסס על ננו-חלקיקים, שבהם אורזים תרופות המעוררות את מערכת החיסון לפעול נגד תאי מלנומה. הפיתוח, שהוכח בשלב זה כעכברי רים בלבד, מבוסס על השימוש החשוב של הננו-רפואה: יכולת אריזה ושינוע של חומרים תרופתיים היישר אל יעד החיסול, בדומה לטילת חכם.

תחזית לעתיד

"אנחנו חיים בעידן מדהים מבחינה טכנולוגית, שבעתיד יאפשר שילוב של רפואה מותאמת אישית, אימונותרפיה, עריכה גנומית ומיקרוביום", מעריכה פרופ' סצ'י-פאינרו. היא צופה שתחום הננו-רפואה יילך ויתפוס מקום משמעותי ברפואת העתיד, בזכות תהליכי פיתוח ושכלול של הפלטפורמות הוועיות לנשיאת חומרים, לצד התפתחות רגולציה מתאימה יותר לאישור הניסויים והשימוש בננו-רפואה. ההערכה היא שהחלקיקים הוועי רים והחכמים ישמשו סוג של "שלוחה רפואית" בתוך גוף האדם. הם יוכלו לנטר מערכות בגוף, לעקוב אחריהן, לשדר ולהתריע וכמובן לשאת תרופות ישירות אל רקמות נגועות, תוך תיאום מושלם בין סוגי החלקיקים השונים.

ננו-רפואה

צבא חלקיקים לטיפול במחלות

פרופ' רונית סצ'י-פאינרו, ראש המחלקה לפיזיולוגיה ופרמקולוגיה וראש המעבדה לחקר סרטן וננו-רפואה בפקולטה לרפואה באוניברסיטת תל אביב



רונית סצ'י-פאינרו צילום: יונתן בלום

תמונת מצב

"פיתוח תחום הננו-רפואה החל כבר בשנות השבעים של המאה הקודמת, עם ייצוב ביו-חומרים בגודל ננומטרי (1 ננומטר = מיליארדית המטר), העשויים מליפוזומים, פולימרים, חומרים לא אורגניים כמו חלקיקי זהב, תחמוצת הברזל ועוד", אומרת פרופ' רונית סצ'י-פאינרו. "הגודל הננומטרי מאפשר שינוי הפורפיל הפרמקוקינטי (פרמקון-תרופה),

קניטיקה-תנועה) של התרופות, כך שהן הופכות למסיסות בנוזל פיזיולוגי של הגוף, נשארות זמן ארוך יותר בזרם הדם, ובשל גודלן לא יוצאות מכלי דם תקינים אך יוצאות באזורים פתולוגיים, שבהם נוצרו כלי דם חדשים (אנגיוגנזיס) חריגים. תכונה זו מאפשרת הצטברות סלקטיבית ברקמה החולה, ועל ידי כך מניעה של תופעות הלוואי שגרמות התרופות החופשיות, שמגיעות לכל הרקמות בגוף".

התפתחויות

100
השנים
הבאות
הגוף

מי בתור להדפסת לב?

לרופאי העתיד יהיו הרבה יותר כלים להתמודד עם המחלות של היום. ההתקדמות המהירה של המחקר והטכנולוגיה, שימוש ברובוטים, תרופות חכמות והתערבויות גנטיות, כולם מלאי חזון ותנופה, מרמזים שלא רחוק היום שהמושג "גוף האדם" יקבל משמעות חדשה

מאת: עידו אפרתי

צילום: תומר אפלכאוס

הקרדיולוגיה הוא כיום דינמי ומתפתח בקצב מהיר מאוד, וישראל היא מהמובילות במחקר ובפיתוח. ועדיין, אומר פרופ' קורנובסקי, "אין מאה אחוזי הצלחה. יש מספר לא מבוטל של חולים שלא מקבלים מענה טוב מספיק".

תחזית לעתיד

מחלות לב וכלי דם הן משפחת מחלות רחבה, שמשפיעה מאוד על הציבור ומושפעת גם מהרגלי חיים וממחלות אחרות. מגוון רחב של מטופלים סובלים מבעיות לב וכלי דם, בהם גם 85 הממתינים להשתלת לב ורבים אחרים שתלויים במכשירי תמיכה כמו קוצב לב ומכשירי "לב מלאכותי".

המקום שאליו מכוון המדע, אחרי פיתוח מסתמים מתקדמים, הוא ניסיונות שונים לפתח רקמת לב מלאכותית, אורגנית או שילוב בין השניים, שיוכלו להחליף רקמות פגועות. מדובר בסוגי "טלאי" שונים בעלי תכונות של רקמת לב, שיידעו "לפעום" ויוכלו לבצע עבודה מדויקת ומתואמת של התכווצות והתרחבות בהתאם לדרישות איברי הגוף. סוגים אחרים של טלאים יסדי-רו את ההולכה החשמלית אצל חלק מהחולים.

אבל המחקר אינו מסתפק בהשתלת טלאים והוא כבר מכוון גבוה יותר - יצירת לב שלם ומתפקד שיתר את הצורך בהשתלה. סנונית ראשונה וחשובה נחתה בישראל באפריל השנה, אז הצליחו חוקרים מאוניברסיטת תל אביב להדפיס לראשונה בעולם לב חי במדפסת תלת ממד, באמצעות תאים אנושיים. הלב, שקוטרו כשני סנטימטרים וחצי, בדומה ללב של ארנבת, הורכב מתאים צעירים, הנמצאים בתחילת תהליך ההתיינות וטרם הגיעו למיצוי התכונות והתפקוד שלהם. מדובר אמנם בשלב הראשוני, ולאחר הדיפוסת, יש לגדל את הלב בסביבה מעודדת צמיחה (כיו-ריאקטור) עד שתאיו ייחפכו לתאים כוגרים המתקשרים ביניהם ופועלים בעילות מרבית כרקמות מתפקדות של לב פועל ופועם - אבל זהו

בהחלט רמז לעתיד לקרות.

"התחזית מאוד מלהיבה, ככל שמתכילים רחוק יותר", אומר פרופ' קורנובסקי. "היא תישען על התפתחות טכנולוגית ופרמקולוגית, על תחום הגנטיקה ועל עולם המחשוב והביג דאטה. נמשיך לראות עוד ועוד טיפולים זעיר-פולשיניים, תרופות חדישות יותר ואלגוריתמים שינתחו מידע ויאפשרו לזהות מחלה או הידרדרות מבעוד מועד. גם תחום הרפואה המונעת והמודיענית לא יאורח חיים מוזיקי יעברו מהפכה. אני מעריך שבעתיד נראה התקדמות ופריצות דרך גם בתחום של השתלת תאים, ובעתיד הרחוק יותר אף גידול לבבות בתנאי מעבדה לצורכי השתלה. אבל יש עוד הרבה אבני דרך לעבור כדי שזה יקרה".

מחלות לב וכלי דם

יצירת לבבות במעבדה

פרופ' רן קורנובסקי, מנהל המערך הקרדיולוגי בבית החולים בילינסון

תמונת מצב

"מחלות לב הן עדיין גורם התמותה והתחלואה מספר אחת במרבית מדינות העולם", אומר פרופ' רן קורנובסקי. "בישראל אמנם הוא גורם התמותה השני (אחרי סרטן), אבל עדיין גורם התחלואה הראשי בקרב האוכלוסייה. כ-10% מהגברים וכ-8% מהנשים סובלים בשלב זה או אחר של חייהם ממחלת לב וכלי דם. השכיחות ביותר הן מחלות שקשורות בכלי הדם הכליליים של הלב, שגורמות לקשת



רן קורנובסקי צילום: בנימין אדם

רחבה של תופעות ומחלות, כולל התקפי לב חריפים. לאלה יש לצרף משפחות נוספות של מחלות לב וכלי דם, כמו בעיות המסתמים, בעיות בשריר הלב, בעיות בהולכה חשמלית והפרעות קצב, לצד מומים ומחלות לב מולדות".

התפתחויות

בעשור האחרון נרשמה ירידה בתמותה ממחלות לב בישראל - ירידה כ-33% בקרב גברי ו-37% בקרב נשים. "יש בעשור האחרון התפתחות דרמטית ברפואת לב וכלי דם. מגוון הפתרונות שניתן לבצע כיום בהליך של צנתור גדל באופן משמעותי והפך לשגרת, כולל פעולות שבעבר הלא רחוק עוד חייבו ניתוח לב פתוח - על כל המשמעותיות הכרוכות בכך.

"היום יש לנו יכולת להשתיל ולתקן מסתמים באמצעות צנתור, לתקן פגמים מולדים ועוד. זו ממש מהפכה שהביא העשור האחרון. הכניסה של צנתורים דחופים, תרופות יעילות ובטוחות יותר ופעולות מניעה שונות הובי-לו לכך שבתוך 20 שנה שיעור התמותה מהתקפי לב ירד ביותר מחצי. באופן כללי, עולם



100 השנים הבאות הגוף

מי בתור להדפסת לב?

לרופאי העתיד יהיו הרבה יותר כלים להתמודד עם המחלות של היום. ההתקדמות המהירה של המחקר והטכנולוגיה, שימוש ברובוטים, תרופות חכמות והתערבויות גנטיות, כולם מלאי חזון ותנופה, מרמזים שלא רחוק היום שהמושג "גוף האדם" יקבל משמעות חדשה

מאת **עידו אכרתי**
צילום: תומר אפלבוים

הארץ 100 תחזיות

הצורך בחשיבה קדימה

פרופ' יאיר אהרוני: יש צורך בצוותי מומחים שיכינו תכניות לעתיד

<p>החלטות של דיווח האו"ם, תבטל פסי של צרים, בסתיו.</p>	<p>החלטות של דיווח האו"ם, תבטל פסי של צרים, בסתיו.</p>	<p>החלטות של דיווח האו"ם, תבטל פסי של צרים, בסתיו.</p>
--	--	--

בפוריות קלענו בול | 5 באפריל 1970

כתב: מרדכי צבי

ב־1970 סיקר "הארץ" את כנס העתידנות בתל אביב, אשר "קרע בפני תושבי ישראל אשנב אל העומד להתרחש בעולמנו בשנת אלפיים". הרשימה שהציג העיתון כללה: "ילדים שיווצרו במבחנות" ו"אפשרות לבחור את מין הילד בהיותו ברחם אמו". התחזית היתה מדויקת. ילדת המבחנה הראשונה נולדה שמונה שנים לאחר מכן באנגליה. את מין העובר כבר אפשר לבחור היום בשיטה הקרויה אבחון גנטי טרום-השרשה, שנעשית בהפריה חוץ-גופית / עופר אדרת



זיהומים

חומרי חיטוי חכמים

פרופ' גליה רהב, מנהלת היחידה למחלות זיהומיות במרכז הרפואי שיבא, תל השומר



גליה רהב

תמונת מצב

זיהומים חיידקיים עמידים, כמו גם מחלות זיהומיות, גורמים למותם של מיליוני בני אדם ברחבי העולם. על פי דו"ח מקיף בנושא ההתמודדות הגלובלית עם עמידות חיידקים לאנטיביוטיקה שפורסם ב-2016, בשנת 2050 ימותו יותר מעשרה מיליון בני אדם מדי שנה מחיידקים עמידים. עד לאותה שנה צפויים נזקקו עמידות החיידקים להסתכם במאה טריליון דולה המאבק בזיהומים - הן בזיהומים נרכשים בבתי חולים והן במגיפות קטלניות - מוגדר כאחד הנושאים הבוערים ביותר על ידי ארגון הבריאות העולמי (WHO).

"כשמדברים על זיהומים חיידקיים עמידים ועל מחלות זיהומיות, יש להבחין בין מניעה לבין טיפול", אומרת פרופ' גליה רהב. "בכל הקשור למניעה, אין ספק שההתערבות החשובה ביותר בעולם הרפואה היא החיסונים, שהובילו לירידה דרמטית בתחלואה ובתמותה. בחיסונים נגד דלקת ריאות, למשל, חלה תפתחות אדירה ובעשור האחרון נעשה שימוש ב'חיסון מוצמד' - חיסון יעיל יותר שהוצמד לו חלבון שמצליח לעורר יותר את מערכת החיסון לייצר נוגדנים והפך אותו ליעיל יותר לחיסול חיידקי הפניאומוקוק - שאחראים על חלק גדול מדלקות הריאות".

בכל הקשור להתמודדות ולמניעת הידבקות בחיידקים עמידים, אומרת פרופ' רהב: "מניעה של העברת הזיהומים לא פחות חשובה מהטיפול. זה דורש פחות צפיפות במחלקות, יכולת טובה יותר לבודד חולים, ניקיון ושימוש בחומרי חיטוי. כיום אנחנו מתמודדים עם

חיידקים רב-עמידים, שאין לנו תרופות לטפל בהם, וחיידקים שעמידים לחומרי חיטוי".

התפתחויות

"שלוש המחלות הזיהומיות ההורגות ביותר כיום הן שחפת, איידס ומלריה", אומרת פרופ' רהב. "בעוד שבטיפול באיידס יש התקדמות, במאבק בשחפת ובמלריה, שהורגות מיליוני בני אדם, אין התקדמות. במלריה מעורבות גם הסביבה, החקלאות, איכות המים, יכולת ההדברה של יתושים ונגישות פחות טובה של המדינות שבהן המחלה נפוצה לתרופות ולמניעה". לדבריה, יש ניסיונות לפתח סוגים חדשים של אנטיביוטיקה ופתרונות אחרים, כמו שימוש בפאגים (הוורוסים של החיידקים) ופיתוח מכשירים פולשניים דוחי חיידקים, כדי להפחית זיהומים נרכשים ביחידות טיפול נמרץ.

תחזית לעתיד

המאבק בזיהומים לא קשור רק לעולם הרפואי. הוא מורכב מאוד ומתקדם בעצלתיים, אך במבט לעתיד הוא עשוי להיראות מבטיח. השילוב של טכנולוגיות מתקדמות לקריאה ולאפיון של דנ"א לצד יכולות מחשוב מתקדמות מאפשר בשנים האחרונות להתבונן באוכלוסיית החיידקים - בתכונות, ביחסי הכוחות ובנקודות התורפה שלהם - כפי שלא ניתן היה להביט בה קודם לכן. עקב כך, מעריכה רהב, ניתן יהיה לפתח חומרים וטיפולים חכמים למניעה ולטיפול בזיהומים. "למשל, חומרי חיטוי מתקדמים שיועדים להבטיח בין פתוגנים לחיידקים טובים".

100
השנים
הבאות
הגוף

מי בתור להדפסת לב?

לרופאי העתיד יהיו הרבה יותר כלים להתמודד עם המחלות של היום. ההתקדמות המהירה של המחקר והטכנולוגיה, שימוש ברובוטים, תרופות חכמות והתערבויות גנטיות, כולם מלאי חזון ותנופה, מרמזים שלא רחוק היום שהמושג "גוף האדם" יקבל משמעות חדשה

מאת עידו אפרתי

צילום: תומר אפלכאום

רובוטיקה

מנתחי מוח זעירים

פרופ' משה שוהם, ראש המעבדה לרובוטיקה רפואית של הפקולטה להנדסת מכונות בטכניון ומייסד חברת מזור רובוטיקה וחברות רובוטיקה נוספות



משה שוהם צילום: עופר וקנין

תמונת מצב

"רובוטים מנתחים לא באים להחליף את הרופא. הם עוד כלי בארגו הכלים שיכול לתת יתרון בנתבונות ובדיקת בהליך שדורש תנועות חזרות. כיום יש מאות אוניברסיטאות שמפתחים בהן רובוטים לשימושים רפואיים, אבל רק מעטים - פחות מעשרה רובוטים - סיימו את הליכי כי האישור ועובדים כיום בחדרי ניתוח", מסביר פרופ' משה שוהם.

חברת מזור רובוטיקה, שייסד פרופ' שוהם, נמכרה בשנה שעברה תמורת 1.6 מיליארד שקל לחברת מדטרוניק האמריקאית. הרובוטים שפיתחו שוהם ועמיתיו נמצאים כיום בכ-300 בתי חולים בעולם ומשמשים לניתוחי עמוד

שדרה וניתוחי מוח, במינימום פולשנות ובדיקת מרכזי. "יש בעולם גם רובוטים

שמשמשים לניתוחי בטן ולניתוחים גיניקולוגיים. בתחום השיקום יש רובוטים שמסייעים בפזיותרפיה או משמשים כשלד חיצוני, המאפשר תנועה לאדם משותק", מוסיף שוהם.

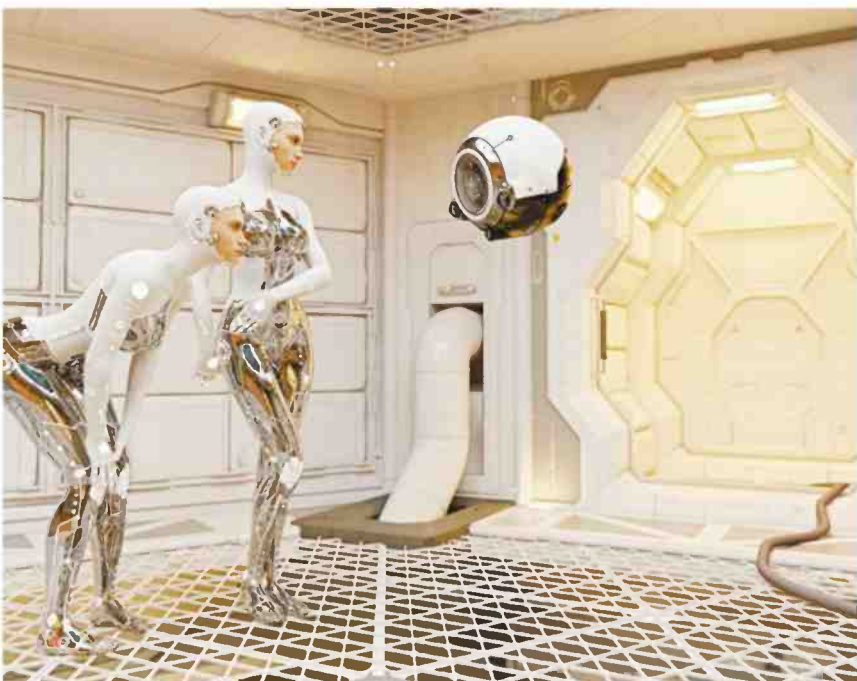
התפתחויות

"הרובוטים והיכולות הרובוטיות משתכללים כל הזמן", אומר פרופ' שוהם. "אנחנו מפתחים עכשיו רובוטים זעירים בגודל מילימטר, שנכנסים לתוך הגוף ומטפלים במחלה בשם הידרוקסילוס, שבה הגוף מתקשה לנקות נוזלים עודפים מהמוח ומעמוד השדרה. הרובוט, שהוא מכני, יכול לנוע בתוך הגוף, לשלוח מידע ולבצע פעולות תיקון אם צריך". בפרויקט אחר שהוא מפתח, חיישנים חכמים יחלו בתהליך האבחון עם הגעתם של מטופלים למיון עוד בטרם פגשו ברופא ויסייעו לתעדף את הטיפול על פי רמת החיפוף.

תחזית לעתיד

"אני מאמין שנראה יותר ויותר רובוטים בחדרי ניתוח בשל היתרונות המובהקים שלהם, ככלי סיוע חשוב לרופאים", אומר פרופ' שוהם. "זה תחום שילך ויתפוס תאוצה. אני חושב שבתוך עשור רובוטים קטנים יבצעו ניתוחי מוח בדייקנות, ובפגיעה פחותה בהרבה ברקמות בריאות. אני חושב שגם בתחום השיקום והסייעות ייעשה שימוש ברובוטים.

"אחד הדברים הקשים ביותר הוא מה שקורה לאדם בסוף ימיו. הרבה אנשים מגיעים למצב שבהם לא רוצים לחיות בשנותיהם האחרונות. הן מבוות ומשפילות אותם. אחת המטרות שהייתי רוצה לקדם באמצעות הרובוטים היא לסייע לאותם אנשים."



סייבורגיות ורפואה. אנשי המחיר ייהנו מרפואה מותאמת אישית עוד לפני ליתום צילום: Donald Iain Smith / Getty Images

100
השנים
הבאות
הגוף

מי בתור להדפסת לב?

לרופאי העתיד יהיו הרבה יותר כלים להתמודד עם המחלות של היום. ההתקדמות המהירה של המחקר והטכנולוגיה, שימוש ברובוטים, תרופות חכמות והתערבויות גנטיות, כולם מלאי חזון ותנופה, מרמזים שלא רחוק היום שהמושג "גוף האדם" יקבל משמעות חדשה

מאת: עידו אפרתי

צילום: תומר אפילבאום

תחזית לעתיד

"נוכח קצב ההתפתחות הזה, קשה לחזות איפה תהיה הגנומיקה בעוד עשור", אומר פרופ' שומרון. "סביר להניח שיהיו טכנולוגיות שאנחנו לא חושבים שהן אפשריות כיום. עם זאת, אפשר להעריך שהמידע הגנטי ילווה אותנו בעוד ועוד תחומים. זה יכול להיות מכשיר שנגשוף לתוכו כל בוקר לפני הקפה והוא ייתן לנו תמונת מצב גופנית ורפואית על סמך ניתוח חיידקי והנחיות להמשך היום. יש היום מחקרים על התאמה של בני זוג על בסיס ניתוח מידע גנטי של חיידקי גוף. אנחנו יודעים שקיים חשש מאיבוד שליטה ומהסכנות הגלומות בעיסוק בגנטיקה. זה סיפור מורכב, שמצריך מגבלות וצדדי חקיקה כמו כל דבר, כמו נהיגה במכונית או שימוש בסכין. בסוף של דבר הדני"א יהפוך לזויזו שלגנר".

אבל כאן החלה המהפכה".

מאז אותה נקודה קריטיקה בזמן, מספר פרופ' שומרון, נמצאת הגנטיקה (שתחום העיסוק המחקרי בה נקרא גנומיקה) במסלול התקדמות מואץ. החל משנת 2005 החלו להופיע מכשירים מתקדמים יותר לריצוף דנ"א, שהצליחו להחזיר את עלות קריאת הגנום ולהאיץ אותה. בשנת 2008 כבר היה ברשות המדענים פרופיל גנטי ראשון של גידול סרטני.

בשנת 2010 החל שימוש נרחב במכונות הריצוף הגנטי, ומכאן החל ריצוף וזיהוי של מוטציות גנטיות במחלות תורשתיות נדירות. יש אלפי מחלות גנטיות נדירות שהיה קשה לזהות והעולם המחקרי לא חקר אותן בשל נדירותן. היכולת לקרוא דנ"א הפכה אותן לרלוונטיות.

התפתחויות

"אם מחלקים את זה לתקופות, השנים הראשונות הוקדשו לביסוס היכולת לקרוא דנ"א, הוד לה שלה והנגשתה. בעידן הנוכחי אנחנו נמצאים בשלב של ניסיון להביא את המשמעות, באמצעות כיו-אינפורמטיקה. כלומר, למצוא בתוך הררי חומר גנטי מאפיינים ייחודיים למחלות שונות", מסביר פרופ' שומרון. היכולת הטכנולוגיות הקיימות מאפשרות לאבחן מחלות תורשתיות, או נוכחות של גן המעיד על סיכון מוגבר ללקות בסרטן או במחלות אחרות.

ההתפתחות המואצת התחרות בין מוסדות מחקר, מדענים וחברות מסחריות הוביל לו לכך שבשנים האחרונות עובר המדע ממצב של קריאה ופענוח למצב של כתיבה. קריספר (CRISPR) היא טכנולוגיה המבוססת על מנגנון הגנה טבעי של חיידקים נגד נגיפים. היא מאפשרת לחתוך חלק לא רצוי מהגנום ולהחליפו בחלק רצוי ביעילות ובקלות יחסית, וחוללה מהפכה בהנדסה הגנטית של השנים האחרונות. "עריכת גנים קיימת יותר מ-20 שנה. מה שייחודי בקריספר הוא שהיא מדויקת ועובדת טוב. זה נכנס במהירות מסחררת ומ-2015 זה מתחיל לעבור מהמעבדה לקליניקה", מסביר פרופ' שומרון. בשנת 2017 הצליחו מדענים מארצות הברית, סין וקוריאה לערוך גנים בעוברים אנושיים כדי לרפא מוטציות חמורות הגורמות למחלות וליצור עובר בריא.

הריצוף והעריכה הגנטית משפיעים לא רק על יכולת ההתערבות בגנום האנושי, הם רלוונטיים גם למיפוי אוכלוסיות חיידקים, זיהוי ולימוד של גידולים סרטניים, הנדסה של זני חיטה וצמחים אחרים, חקר האבולוציה וארכיאולוגיה.

מהפכת הגנומיקה הדני"א יהפוך לזויזו

פרופ' נועם שומרון, ראש מעבדת מחקר בתחום הגנומיקה במקולטה לרפואה באוניברסיטת תל אביב



נועם שומרון צילום: שיאון נינו

תמונת מצב

"יש מעט מאוד תחומים ברפואה שמתרחשת בהם קפיצה אדירה בזכות טכנולוגיות חדשות. תחום הגנטיקה הוא מקרה כזה", טוען פרופ' נועם שומרון. "בראשית שנות האלפיים הושג לריצוף הגנום האנושי. הבנו שיש בידינו את 'ספר הספרים' של הקיום האנושי, אבל הבנו גם שדרושה התפתחות. זה היה גנום של אדם אחד, שדרשו כמה שנים וכמיליון דולר לרצף אותו.

100
השנים
הבאות
הגוף

מי בתור להדפסת לב?

לרופאי העתיד יהיו הרבה יותר כלים להתמודד עם המחלות של היום. ההתקדמות המהירה של המחקר והטכנולוגיה, שימוש ברובוטים, תרופות חכמות והתערבויות גנטיות, כולם מלאי חזון ותנופה, מרמזים שלא רחוק היום שהמושג "גוף האדם" יקבל משמעות חדשה

מאת **עידו אפרתי**

צילום: תומר אפלבאום

התפתחויות

"היום אנחנו משתמשים במודלים של למי-דה עמוקה, שמקודדת מצבים רפואיים לכדי מספרים", מסבירה ד"ר וייס-מייליק. "למשל, ניתוח של צילום רנטגן באמצעות קידוד הנתונים והפיקסלים בתמונה. המחשב לומד לזהות גוש חשוד או דלקת ריאות. מערכת הלמידה שלו והידע שהוא צובר מאפשרים לו לבנות מודל שמנבא מצבים שונים".

כדי לבנות ולממש את המודלים האלה זקוקים המחשבים למידע, שנאסף ממטופלים. "אנחנו מחברים מטופלים לחיישנים, אוספים תוצאות ממדי לחץ דם, דופק, חמצן בדם. יש לנו מודל בפגייה שעוקב אחרי הפגים בניסיון ללמוד אם התנהגות או שינוי מסוים יכולים לנבא הידרדרות במצב, ולמנוע אותו. המחשב מנסה למצוא דפוסים שמנבאים את האירוע באמצעות מודלים מתמטיים".

תחזית לעתיד

"אנשי המחר ייהנו מרפואה מותאמת אישית מרגע לידתם ואף לפני כן", צופה ד"ר וייס-מייליק. "אמצעי ניטור ואבחון ילוו את בני האדם מחוץ למערכות הרפואיות: בביתם, בסניכיהם ואף מתוך גופם. המידע, שייאסף ויעובד באופן רציף במרכזי רפואת המחר, יתריע מבעוד מועד על מצבי תחלואה עתידיים ויציע לרופאי העתיד תוכנית אישית מיטבית למניעה או לטיפול".

עם זאת, קשה לה לראות מצב שבו לא יהיה צורך בביקור אצל רופא בשר ודם. "קרוב לוודאי שעדיין נזדקק לרופא שיידיע לראות את התמונה הגדולה, הכוללת מרכיבים שאינם ניתנים לניטור ולחזיון, כמו מצבים רגשיים וחברתיים, ולהגיש את הרפואה עם המגע האנושי, שהוא חלק בלתי נפרד ממנה." ★

בינה מלאכותית

המחשב יצפה התקף לב

ד"ר אהובה וייס-מייליק, מנהלת המרכז לרפואת המוח בבית החולים איכילוב

תמונת מצב

"מערכות המידע שנוצרו סביב הטיפול הרפואי כוללות כיום מידע רב כל כך, שקשה לשלל וללמוד משהו מהנתונים הללו", אומרת ד"ר אהובה וייס-מייליק. "אם ניקח ספירת דם עם פרמטרים, שכולם נמצאים בטווח הנורמלי - הרופא יסתכל ויראה שהכל בסדר אבל גם בתוך טווח הנורמה של המדדים מסתתר מידע יקר ערך. מודל מתמטי יכול לזהות מצבים קליניים נייחים נוכחיים ועתידיים שאף רופא, או מוח אנושי בכלל, לא יכול לזהות. זה נכון גם לגבי אק"ג, מדדים וממצאים לאורך ההיסטוריה הרפואית של מטופל. יש אינסוף אינפורמציה".

המרכז שבראשו עומדת ד"ר וייס-מייליק הוא נציג של מגמה רוחבית במערכת הבריאות, שמופיעה במרכזים רפואיים נוספים ובמכוני המחקר של קופות החולים. זו רפואה מבוססת ממצאים ונתונים: יותר מספרים, פחות אינטואיציה. במערכת קוראים לזה "כלים תומכי החלטה", שלא ישתמע חלילה שהם מיייתרים את תפקידו של הרופא. בפועל זהו תהליך שבו הרפואה המסורתית, שמבוססת על השכלה וניסיון אישי של הרופא, נסוגה מול כוח חישובי עצום, שמשקלל אינסוף פרמטרים, נמצא בתהליכי למידה תמידיים, אינו מתעייף לעולם ואין לו מגבלת זיכרון.



צילום: מירי גטניו / דוברות איכילוב

ד"ר אהובה וייס-מייליק:

"אמצעי ניטור ואבחון

ילוו את בני האדם מחוץ

למערכות הרפואיות: בביתם,

בסביבתם ואף מתוך גופם.

המידע, שייאסף ויעובד

באופן רציף במרכזי רפואת

המחר, יתריע מבעוד מועד

על מצבי תחלואה עתידיים"