

## **נספח 2 : אסטרטגיה לקראת מערכת הבריאות של 2030** **טכנולוגיה רפואית וצורת מתן שירותי בריאות**

חיזוי טכנולוגי עשרות שנים קדימה אינו בחזקת ניסיון להתנבא, אלא הוא מבוסס על תהליכים שכבר מתרחשים כיום, חלקם עדיין במעבדות.

פרק זה ייוחד רק להיבט הטכנולוגי בבריאות והשפעתו על מתן השרותים. ברם במקביל לשינויים החברתיים שיתגברו (שינוי התא המשפחתי והגברת החיים הבודדים) יש גם לחשוב על ההשפעה הפסיכולוגית של עולם בו ליד בני אנוש שיטפלו בבני האדם תהיינה מערכות רובוטיות נרחבות. כמו כן תואץ העליה בתוחלת החיים ויגבר הלחץ הכלכלי של מערכות הבריאות.

### **1. מחשבי על**

כאן מדובר על 2 קבוצות :

- (א) מחשב קוגניטיבי שיחקה את חושי האדם – ראייה, ריח וטעם. כך מחשבים כאלה, בהם תהיה בינה מלאכותית, יאפשרו לאבחן צילומי דימות (IMAGING) וישנו לחלוטין את אופי עבודת הרדיולוגים. כן יקראו הרובוטים משטחים מהרקמות וישנו את עבודת הפתולוגים. מחשב כזה המצויד בחיישנים ובעל יכולות בינה מלאכותית – יוכל לאבחן באמצעות בדיקות נשימה כל ריח נתון בעולם. המחשב אף יוכל לזהות מצב רוח לפי נימת הקול, כאשר שאלונים מובנים יוכלו לאשש אבחנה זו.
- (ב) כמות המידע הרפואי שתצטבר ב-20 השנים הבאות תחייב נפחים גדולים בהרבה של מאגרי מידע מאלו שנמצאים כיום בשימוש (קרוב לוודאי EXA BYTES ואולי אפילו ZETTA BYTES). במאגרי מידע אלה יצטבר חומר גנטי רב על בני האדם ולאור ההתפתחות המהירה והמדהימה בתחום הגנטיקה של האדם, נתונים אנמנסטיים ופסיכו-סוציאליים, נתוני דימות, פתולוגיה, ממצאים מעבדתיים וכן נתונים אפידמיולוגיים ועוד, אשר בצרוף אלגוריתמים מתאימים יוכלו לסייע באבחון ובקביעת הטיפול, על ידי אינטרגציה וסינתזה של המידע הרב. במחשבי על אלה תהיינה גם Decision Support Systems - מערכות תומכות החלטה.

מחשבי-על אלה יאפשרו לנו לחזות מראש (PREDICTIVE ANALYSIS) מי יחלה במחלה מסויימת (ובכך יקדמו במידה ניכרת את תחום הרפואה המונעת) וכן מי מהחולים הכרוניים עשוי להדרדר וכתוצאה מחלתו מחייבת טיפול יותר אינטנסיבי.

כאן תבוא לידי ביטוי התפיסה של פרסונליזציה של הטיפול במלוא מובן המילה (Precision Medicine), דבר שתהיה לו גם השפעה אדירה על חברות התרופות (אשר גם תעזרנה בשיטות חדישות ליצור תרופות).

מחשבים כאלה יאפשרו בבתי החולים לחזות מראש החמרה במצב החולה ובשחרורו לקבוע לאיזו מסגרת הוא מתאים (תת אשפוז, שיקום, סיעוד או חזרה הביתה).

כאן יש להזכיר כי ב-2012 הופעל ב-Sloane Kettering מחשב Watson של I.B.M. אשר מתמקד באונקולוגיה. הוקם בסיס נתונים מרכזי של ידע כאשר היכולת הטכנולוגית המרכזית מבוססת על Natural Language Processing – יכולת ממוחשבת לקרוא טקסט חופשי ולהסיק מסקנות.

יש פה אם כן 2 מרכיבים :

- (a) בסיס נתונים מרכזי המכיל ידע מכמות אדירה של מאמרים ובעתיד מניסיון קליני במאות מרכזים בעולם.
- (b) אלגוריתמים או רובוטים חכמים שלומדים התנהגויות על סמך העבר ומתריעים על בעיה.

כיום מדובר בגישה של תמיכה בהחלטות ולא יצירת החלטה. ברם במבט לעתיד ייווצרו בסיסי נתונים מרכזיים בינלאומיים אשר בשילוב עם אלגוריתמים יאפשרו אף הסקת מסקנות.

## 2. ננו-רפואה

ננומטר הוא אלפית מיליונית של מטר ( $10^{-9}$  מטר). לצורך השוואה, עובי אופייני של שערת אדם הוא 100 אלף ננומטרים והמרחקים האופייניים בין אטומים במולקולה הם כעשירית הננומטר. יש לזכור כי בגוף האדם יש ננו מכשירים ניידים אותם בנה הטבע, כגון תאי הדם הלבנים שרוחבם כ-10,000 ננומטר, או הריבוזומים המצויים בתוך התא. ננו-רפואה היא חלק ממדע מקיף יותר, שנקרא ננו-טכנולוגיה שהינו תחום המחקר בטכנולוגיות העוסקות במערכות שגודלן האופייני הוא בין ננומטרים בודדים לעשרות ננומטרים. הוא מבוסס על היכולת לבצע מניפולציות במולקולות ובאטומים בודדים – להזיזם ממקום למקום ולשנות אותם כדי להעניק להם תכונות רצויות.

הפוטנציאל בתחום הרפואה אדיר, כאשר הדבר יחייב מיזוג הביולוגיה המולקולרית עם הננו-טכנולוגיה. כאן ניתן יהיה לייצר חומרים שהם מספיק גדולים, כך שיהיו בעלי מגוון יכולות, ומספיק קטנים כדי להיכנס אל זרם הדם, לחדור אל תאים ומאוחר יותר אף אל חלקי תאים.

הננו-רפואה תשנה לחלוטין את יכולתנו באבחון ובטיפול. לשם כך יעשו בחלקיקים אלה כמה שינויים :

- א. בניה כך שמערכת ההגנה הטבעית לא תתקוף אותה.
- ב. אל פני השטח של החלקיקים הננו-מטריים יקושר חומר שיש לו משיכה סלקטיבית לאיבר המטרה (תאים או רקמות).
- ג. החלקיקים ינועו בגוף (כגון על ידי ננו-מנוע דוגמת שוטן של חיידק או תא זרע, ננו-רובוט עם מחשב מובנה, חיישנים ביולוגיים ועוד) ויתבייתו על איבר המטרה.
- ד. כדי לסייע באבחון ניתן יהיה להזריק לנבדק ננו-חלקיקים שיש להם תכונות המאפשרות לראות אותם בשיטות שונות (IMAGING), כמו ננו-חלקיקים המכילים חומר רדיואקטיבי אותם אפשר לראות במיפוי, ננו-חלקיקים מגנטיים שאפשר לראות ב-MRI, או כאלה שמכילים צבע פלורסצנטי אותם נראה בשיטות פלורסצנטיות.

כדי לסייע בטיפול החדשני ניתן יהיה להוביל תרופות לרקמה החולה, כאשר מגוון התרופות הוא נרחב – אנטיביוטיקה, חומר ציטוטוקסי, ממייסי קרישה או חומרים שיתגברו מקומית את מערכת החיסון.

### 3. רובוטים

רובוטים יובילו בניתוחים, בעיקר אלקטיביים וישנו לחלוטין את פני הכירורגיה. הדבר ינבע הן מההתקדמות הניכרת בתחום פיתוח הרובוטים והן משילוב בהם של יכולות ההדמיה אשר תשתפרנה במידה ניכרת בעשורים הבאים.

רובוטים יהיו חלק אינטגרלי במחלקות האשפוז ויבצעו בסיוע טכנאים רפואיים את כל הבדיקה הפיסיקלית וכן יעבירו לרופא דיווח על החמרה במצב החולים.

רובוטים אף יקחו חלק ניכר מהעבודה המשקית כהובלת ציוד לסוגיו ובמחלקות - אם בניקוי החדרים ובהגשת אוכל ואם בהקטנת עבודת האחיות על ידי חלוקת תרופות. הכנת התרופות האישיות והתמיסות גם תעשה על ידי הרובוטים.

רובוטים גם ידאגו לחיטוי החדרים בבתי החולים מחיידקים ובכך יקטינו את הסכנה של זיהומים נוזוקומיאליים.

4. כן תמשיך **המהפכה הגנטית**, כאשר ההתקדמות המרובה החזויה בשני העשורים הבאים תיישם את התפיסה של פרסונליזציה בטיפול האישי וכן תאפשר מידע רב על סמני מחלות גנטיים אשר יסייעו באבחון מוקדם.

בדיקת רצף הגנום של כל אדם יהיה זמין בעלות נמוכה, דבר שיביא למהפך באבחון, בטיפול מונע ובטיפול. אבחון גנטי טרום לידתי יבוצע על ידי בדיקת גנום העובר, הנמצא בדם האם.

גישות דומות של זיהוי מוטציות שמקורן בגידול הנמצאות בדמו של החולה צפויה להפוך לשיטה רוטינית לאבחון מוקדם של ממאירות. סביר להניח כי אותה עת יבשילו טיפולים של ריפוי גנטי. כן יעשה שימוש בביולוגיה סינטטית לייצור גנים וחלבונים בעלי תכונות משופרות.

כבר כיום ניתן ליטול דם מהאם ההרה ולעשות Sequencing של הגנום כולו של העובר.

לכן ניתן כבר לגלות ליקויים מטבולים ואימונולוגים בעובר ולהתחיל בטיפול מיד עם הלידה.

5. מהפכה אדירה אחרת שתשפיע במידה רבה על השכיחות הגבוהה של מחלות כרוניות יהיה השימוש הקליני בתאי גזע, אשר יאפשר בסופו של תהליך ריפוי במחלות ניווניות רבות.

**Regenerative Medicine** - לידה יש להזכיר את הרפואה הרגנרטיבית -

(1) תחת שם זה נכללות 2 גישות שונות לחלוטין זו מזו, אשר מטרתם היא יצירה מלאכותית של רקמות או אברים. Tissue Engineering הוא תחום מולטי-דיסציפלינרי הכולל הנדסה, ביולוגיה ורפואה.

כאן יש שימוש בתאים חיים (Xenogenic, Allogenic, Autologus) או תאי גזע) אותם שמים ב-Scaffold – מבנה מלאכותי תלת מימדי.

כאן ניתן יהיה ליצר תחליפים ביולוגיים לרקמות (עור, שריר, סחוס, עצם או כלי דם) או לאברים (כמו כיס שתן או לבלב).

(2) 3 D Printing או Additive Manufacturing פרושו יצירה, על ידי העזרות במודל דיגיטלי, של גופים מוצקים תלת מימדיים על ידי בניה מחומרים שונים של שכבה לאחר שכבה.

ניתן גם להשתמש ב-Bio Printers כדי להדפיס אברים אנושיים כמו כליה למחקר ובעתיד להשתלה בבני אדם.

6. גם נושא ה-Tele רפואה יביא לשינוי מהותי בשרותי הבריאות.

א. נפח הביקורים במרפאה יקטן תוך 20 שנה לרבע מנפח הביקורים כיום. ביתם של החולים יהפך להיות תחליף לאשפוז במקרים רבים וכן הטיפול במחלות כרוניות יעשה מרחוק. רובוטים יוכנסו לבתים של החולים, כאשר הרובוט ינטר את החולה באופן רציף וישוחח עמו כדי לקבל מידע על תלונותיו. ניתוח מידע זה יוביל על ידי בינה מלאכותית לקביעה האם יש להעביר את החולה לבית חולים (הרובוט יוכל כמובן להזמין אמבולנס) או להזמין איש צוות לבית של החולה.

בהקשר זה יש לציין מהפכה טכנולוגית בתחום הסנסורים, כאשר מגוון הסנסורים הולך וגדל ועלותו יורדת.

כאן שידור ממצאים לאדם עצמו, לתיק החולה וגם למרכז רפואי מאויש באחיו יכול להביא לשינוי מהותי בהתנהגות בני האדם, כולל בתחום ה-Compliance

ב. כל תפיסת השיקום תשתנה, כאשר במקום שיקום קצר מועד, פנים אל פנים, מרבית השיקום יעשה בבית באמצעות TELE ויאפשר שיקום ממושך. במקביל תאי גזע ורפואה רגנרטיבית יקטינו במידה ניכרת את הנכויות ויקדמו אף הם את היכולת של הישישים להשאר בביתם.

### צורת מתן שרותי הבריאות

המגמה למעבר שרותים מאשפוז לשרותים אמבולטוריים תלך ותגבר. במקביל תתגבר במידה משמעותית האינטנסיפיקציה של שרותי האשפוז.

רובוטים ישנו לחלוטין את העבודה הרפואית בבתי החולים.

כמו כן יקטנו בצורה דרסטית מפגשים פנים אל פנים בין הרופאים והחולים. מפגשים אלה יתקיימו רק כשיש צורך בבדיקה פיסיקלית שאינה ניתנת להעברה אלקטרונית (מעשית – כשדרוש מישוש), או במקרים בהם דרוש מפגש שקט ארוך.

בשאר המקרים התקשורת תהיה אלקטרונית וכן שרותים רפואיים רבים (כולל הרבה אשפוזים חריפים) יינתנו בבית של החולים.

מובן שיהיה גם שוני ניכר בהוראת הרפואה, כאשר הטקסונומיה תשתנה לחלוטין וכן יהיה שוני ניכר בעבודת הרופאים בכלל ובמקצועות התמחות ככירורגיה או רדיולוגיה בפרט.

ההתמקצעות ברפואה תלך ותקטן בגלל רובוטי העל בהם גם תהיינה משולבות מערכות של Decision Support.

ליד מקצוע הסיעוד יתפתח תחום נרחב של טכנאים רפואיים, כאשר גם מקצוע הסיעוד יצטרך להתאים עצמו למצב החדש.

מג