

# רִיטוּקְסִימָאב: 'גלולת פלא' לטיפול בסוגים מסוימים של סרטן הדם

Robert Busch\*

המחלקה למדעי החיים, אוניברסיטת רוהמפטון, לונדון, בריטניה

## סוקרים צעירים

JAKOBY  
גיל: 11



JEREMY  
גיל: 10



KIRUBEL  
גיל: 10



SYLVIA  
גיל: 10



תאי B הם תאי דם לבנים קטנים שתורמים להגנה החיסונית שלנו. הם מייצרים נוגדנים, אשר מסייעים לנו להחלים מזיהומים. כאשר אינם פועלים באופן תקין, תאים אלה עלולים לגרום למחלות. אם הם עוברים מוטציה ובעקבותיה מתחלקים בצורה בלתי נשלטת, תאי B עלולים לייצר סוגים שונים של סרטן הדם, שנקרא לוקמיה, או סוגים שונים של סרטן קשרי הלימפה, שנקרא לימפומה. מאמר זה עוקב אחרי ההתפתחות של רִיטוּקְסִימָאב (Rituximab) – תרופה שהורגת תאי B סרטניים. באופן פרדוקסלי, התרופה עצמה היא נוגדן-תוצר של תא B! פיתוח נוגדן כזה לכדי תרופה הצריך ידע מעמיק לגבי מערכת החיסון; הנדסה גנטית חכמה ומאמץ גדול של מדענים ושל רופאים. זהו סיפורם של כמה מדענים מצוינים שהתקדמו בשיתוף פעולה על בסיס עבודותיהם, במטרה ליצור תרופה אשר לימים התגלתה כמצילה חיים רבים.

## הקדמה

במאמר זה נביא בפניכם את סיפורה של רִיטוּקְסִימָאב – תרופה המשמשת לטיפול בסרטני הדם והלימפה [1]. סוגי סרטן אלה נגרמים על ידי תאים של מערכת החיסון שעוברים

מוטציה ומתחלקים כשאינם אמורים להתחלק. אופן פעולתן של תרופות רבות שבהן נעשה שימוש לטיפול בסוגי סרטן אלה, מבוסס על הריגת כל תא שמתחלק, לרבות תאים סרטניים, אשר מתחלקים מהר. אולם, סוגים מסוימים של תאים תקינים גם נדרשים להתחלק כל הזמן, בהם התאים שמרפדים את המעינים והתאים יוצרי הדם במח העצם. כחלק מפעילותן של התרופות האנטי-סרטניות שמאתרות תאים מתחלקים, נהרגים גם התאים הבריאים הללו. עקב ההשפעות השליליות של התרופות האלה, מידת השימוש בהן מוגבלת.

## ריטוקסימאב-גלולת פלא' שמציעה פתרון לבעיה

היה טוב יותר לו יכולנו להרוג רק את התאים שגורמים לסרטן, באמצעות 'גלולת קסם'. מדענים משתמשים בביטוי זה כדי לתאר תרופות שפועלות באופן מדויק מאוד על גורם המחלה, והן בעלות השפעות לוואי מינימליות. ריטוקסימאב היא תרופה שמתקרבת באופן משמעותי לשאיפה הזו. התרופה נקשרת למולקולה שנקראת CD20, אשר נמצאת על פני השטח של תאים חיסוניים מסוימים, שנקראים תאי B. היקשרות הריטוקסימאב לתאים אלה מאפשרת את הקטנתם של תאי B האבנורמליים שגורמים לסרטן. בעת פעולתה, ריטוקסימאב גם מסירה תאי B תקינים, שהם חלק מההגנות החיסוניות שלנו, אך באופן שאינו מזיק מאוד: תאים חיסוניים אחרים עדיין יכולים להגן עלינו מפני מרבית הזיהומים. ריטוקסימאב אינה תוקפת תאים אחרים בגוף, מאחר שאינם מכילים את מולקולת ה-CD20. לכן, טיפול זה נמצא יעיל יותר ופחות מזיק לעומת תרופות ישנות יותר.

בפיתוח של ריטוקסימאב היו מעורבים מדענים רבים שבנו באופן הדדי על בסיס עבודות עמיתיהם, במשך עשורים. הם נדרשו לגלות כיצד תאי B פועלים בתוך מערכת החיסון; כיצד הם גורמים למחלה ובאיזה אופן ניתן להבדיל תאים אלה מסוגי תאים אחרים. לאחר מכן, היה על המדענים להשתמש בידע זה וליישמו במטרה להרוג תאי B שאינם פועלים באופן תקין במטופלים אנושיים.

## תאי B בהגנה ובחולי

כולנו חוונו תחושות של מחלה ועייפות, הקלות בנזלת, שיעול, או חום במשך כמה ימים, ואז אט-אט התחלנו להרגיש טוב יותר שוב. תחושות אלה עלולות להיגרם על ידי נגיף צינון שכיח שנכנס לריאות ומשתכפל בתאי הגוף. מערכת החיסון נלחמת בנגיף ומשקמת את בריאותנו. ללא תגובה חיסונית, היינו נהפכים במהרה לקרקע להתרבות נגיפים זיהומיים אחרים.

מערכת החיסון משתמשת בתאי דם לבנים ובחלבונים במחזור הדם כדי לאתר סוכנים מזהמים ולחסל אותם. חלק מתאי הדם הלבנים מייצרים תסמינים שמסייעים להילחם בזיהומים: דלקת; עייפות וחום. תאי דם לבנים אחרים וחלבונים שונים נלחמים בזיהומים בגוף באמצעות זיהוי כל נגיף או חיידק מזהם על ידי צורות ייחודיות של המולקולות שלו (שנקראות **אנטיגנים**). זיהוי אנטיגנים מאפשר לתקוף את הגורם המזהם באופן מדויק הרבה יותר.

תאי B הם סוג של תאי דם לבנים המשתתפים בתגובה החיסונית [2]. על פני השטח של כל תא B יש חלבון, שנקרא **נוגדן**, אשר שונה במעט מהנוגדנים של תאי B אחרים (**איור 1A**).

### אנטיגן (Antigen)

החלק של גורם מזהם שמגרה תאי B ליצירת נוגדן, ושאליו אותו הנוגדן נקשר.

### נוגדן (Antibody)

חלבון על תאי B ובדם, אשר יכול להיקשר לאנטיגן. תאי B מרכיבים כל אחד נוגדן אחר.

איור 1

חלוקה של תאי B. (A) על פני

השטח של כל תא B יש נוגדן (Antibody) ייחודי, שמוצג כאן בצבעים שונים. תאי B תקינים מתחלקים רק כאשר גורם מזהם (Infectious agent) נכנס לגוף, ולאחר זיהוי האנטיגנים (Antigen) שלו. לאחר מכן, תאי B ספציפיים עבור אותו גורם מזהם מתחלקים ומייצרים נוגדנים שנלחמים בזיהום שנוצר.

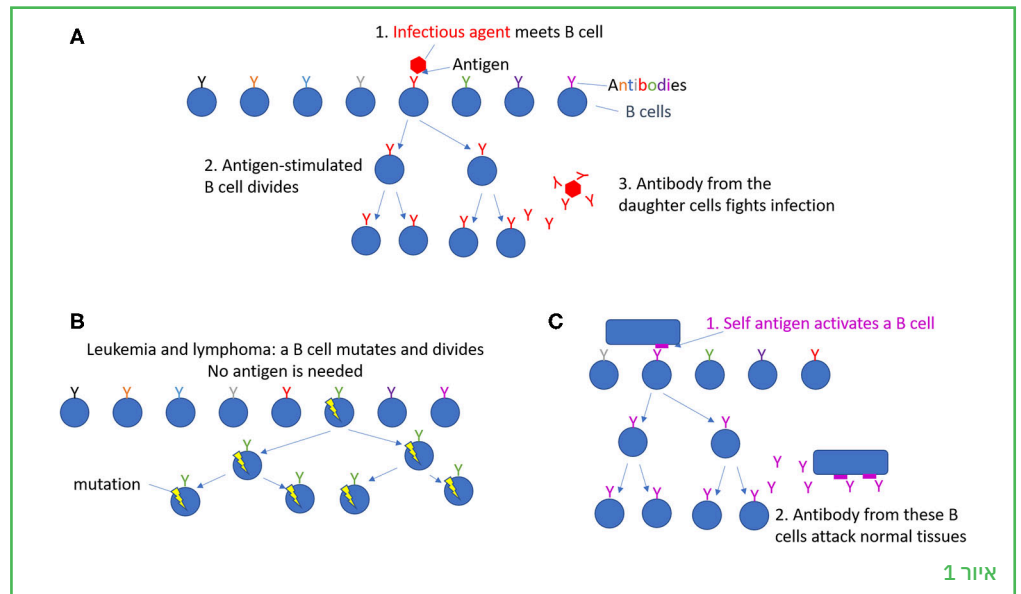
(B) סוגי לוקמיה

(Leukemia) – סרטן הדם, וסוגי לימפומה (lymphoma) – סרטן קשרי הלימפה, עלולים להתפתח מתאי B שעברו מוטציה (Mutation), כך שתאים אלה מתחלקים יותר מדי, אפילו כשאין זיהום. (C) במחלות אוטואימוניות, תאי B מתחלקים ומייצרים נוגדנים שפוגעים ברקמות (Tissues) תקינות.

מקרא:

- A. 1. גורם מזהם פוגש תאי B
- 2. תאי B אשר גרו על ידי אנטיגן, מתחלקים
- 3. נוגדנים מתאי הבת (הנוצרים לאחר החלוקה) נלחמים נגד הזיהום B. לוקמיה ולימפומה: תאי B עוברים מוטציה ומתחלקים (לא נדרשת נוכחות אנטיגן)
- C. 1. אנטיגן עצמי מפעיל תא B
- 2. נוגדן מתאי B אלה תוקף רקמה תקינה.

במהלך זיהום, תאי B פוגשים את הגורם המזהם. אם לגורם המזהם יש אנטיגן שאליו הנוגדן של תא B נקשר, אותו תא B יתחלק. תהליך זה מייצר תאי B נוספים שמייצרים את אותו הנוגדן. חלק מהתאים האלה ישחררו את הנוגדנים שלהם, כך שיוכלו לנוע בדם ולהיקשר לגורם המזהם בכל מקום שהוא עשוי להיות בו. הנוגדן הקשור מאתר את הגורם המזהם כדי שמערכת החיסון תהרוס אותו. חלק מתאי ה-B המגיבים יכולים לשרוד במשך תקופות ארוכות, והם מספקים זיכרון חיסוני, כלומר תגובה מהירה יותר ועוצמתית יותר, כאשר אותו גורם מזהם נכנס שוב לגוף בשלב מאוחר יותר בחיים. המדען והאימונולוג הַדְּנִי נִילֵס קָאגֵי נָרְן גִּילָה את ההסבר הזה לתגובות חיסוניות [2, 3].



איור 1

לוקמיה

(Leukemia)

מחלה שבה תאים חיסוניים שעברו מוטציה מצטברים בדם.

לימפומה

(Lymphoma)

מחלה שבה תאים חיסוניים שעברו מוטציה מצטברים ברקמות קשיחות.

<sup>1</sup>מאמר זה בפרונטרז – מדע לצעירים [4] מתאר סוג אחר של לוקמיה, ואת הפיתוח של 'גלולת קסם' שונה לחלוטין לטיפול בו.

מחלה אוטואימונית

(Autoimmune disease)

מחלה שבה מערכת החיסון תוקפת חלק מהגוף.

מרבית תאי ה-B האחרים לא ישתתפו במאבק זה, מאחר שהנוגדנים שלהם אינם יכולים להיקשר לאותו האנטיגן. אולם, הם עשויים להגיב לזיהום אחר, בזמן אחר. לבני אדם יש מיליוני נוגדנים ייחודיים על גבי תאי ה-B שלהם. רק חלק קטן מהם נעשה פעיל בתגובה לכל זיהום. יחד, תאי ה-B שלנו יכולים להילחם כנגד כל הזיהומים שאנו עלולים להיתקל בהם.

לפעמים, במקום להילחם בזיהומים, תאי B עלולים לגרום למחלות. לעיתים, עשויות להתרחש מוטציות בתא B, ולגרום לו להתחיל להתחלק כל הזמן, אף על פי שאין בנמצא אנטיגן כדי להפעיל אותו (איור 1B) [1]. תאי ה-B שעברו מוטציה מצטברים בדם כסרטן מסוג לוקמיה, או במקום אחר בגוף, תוך יצירת מצבור תאים שנקרא לימפומה. תאי B הסרטניים עשויים לשבש את התפקודים התקינים של הדם או של האיברים שבהם הם מצטברים, ובסופו של דבר לגרום למוות. ישנם סוגים רבים של לוקמיה ולימפומה; רק חלקם מגיעים מתאי B שאינם פועלים באופן תקין.<sup>4</sup> במטופלים אחרים, תאי B מייצרים נוגדנים שתוקפים בטעות רקמות בריאות בגוף, שאינן מזוהמות (איור 1C). מחלות שנגרמות עקב טעויות כאלה נקראות מחלות אוטואימוניות, והן עלולות לתקוף מפרקים, כלי דם, את המוח, או רקמות אחרות.

זיהוי תאי B אנושיים באמצעות עכברים

במטרה לפתח תרופה לטיפול בסרטן דם לסוגיו, מדענים ראשית היו צריכים ללמוד כיצד להבחין תאי B אנושיים (לרבות תאי B שעברו מוטציה ויצרו סרטני לוקמיה ולימפומה),

מסוגים אחרים של תאי דם לבנים. עד כה, למדתם כי נוגדנים משמשים את מערכת החיסון לזיהוי אורגניזמים מזדמנים... אולם, מדענים גם למדו כיצד לייצר נוגדנים שמזהים סוגי תאים מסוימים, כמו תאי B! דרך זו לשימוש במערכת החיסון פותחה בתחילה בעכברים.

בשנות ה-70 של המאה הקודמת, הביולוג הגרמני ז'ורז' קוהלר והביוכימאי הארגנטינאי-בריטי סֶזָר מילשטיין, שעבדו בקיימברידג', בריטניה, השתמשו בעכברים כדי לפתח תהליך ליצירת נוגדנים כנגד אנטיגן מסוים [3]. הם התחילו על ידי חיסון עכבר באמצעות אנטיגן. בעכבר נוצרה תגובה חיסונית, שבה חלק מתאי ה-B התחלקו ויצרו נוגדנים שיכלו להיקשר לאנטיגן. לאחר מכן, הם גידלו תאי B מעכבר בצלחות תרביות זעירות, והכריחו אותם להתחלק כל הזמן. אז, צמד המדענים היה מסוגל לזהות, בין אלפי תרביות כאלה, את אותם תאי B שיצרו נוגדנים ספציפיים לאנטיגן המחסן. תאי ה-B האלה גודלו בכמויות גדולות במטרה לקבל נוגדן ייחודי שנוצר על ידי תאי ה-B הראשון וכל התאים שגדלו ממנו, שנקראים תאי בת. תא בודד עם כל תאי הבת שלו נקראים שבט (clone), מאחר שכל התאים יוצרים את אותו הנוגדן בדיוק. הנוגדן שמוצא על ידי שבט בודד של תאי B נקרא **נוגדן חד-שבטי**.

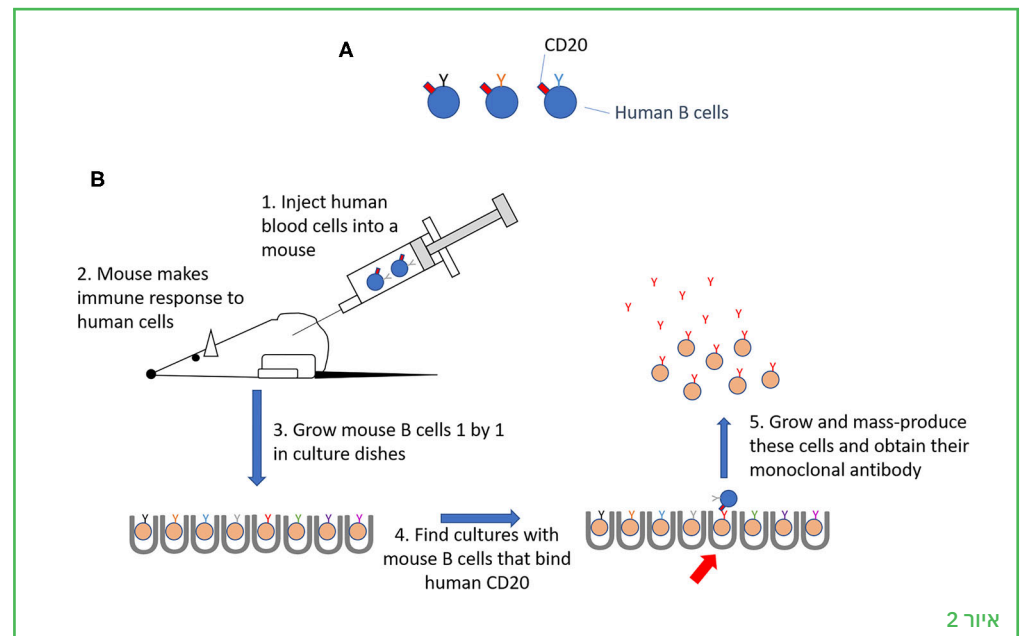
### נוגדן חד-שבטי (Monoclonal antibody)

נוגדן שנוצר על ידי תאי B בודד ותאי הבת שלו. נוגדן מסוג זה מיוצר בכמויות גדולות במעבדה.

אולם, כיצד הדבר סייע למדענים לזהות תאי B אנושיים? בעכברים, נוגדנים חד-שבטיים יכולים להיות מיוצרים כנגד כל אנטיגן שהוא זָר לעכבר. מאחר שתאי B אנושיים הם זָרים לעכברים, עכברים שחוסנו עם תאי דם לבנים ייצרו כמה מהנוגדנים הספציפיים למולקולות שנמצאות בתאי B אנושיים (איור 2). בשימוש בשיטה ליצירת נוגדנים חד-שבטיים שתוארה לעיל, מדענים זיהו מולקולה שנקראת CD20, אשר נמצאת על תאי B אנושיים אך לא על תאים אחרים בגוף האדם. כשתאי B עוברים מוטציה ונעשים סרטניים, הם ממשיכים להכיל מולקולות CD20 על פני השטח שלהם. לכן, נוגדנים שנקשרים ל-CD20 יכולים לשמש לזיהוי תאי B תקינים וסרטניים כאחד [5].

### איור 2

**יצירת נוגדנים שמזהים תאי B אנושיים (A) מולקולת CD20 נמצאת על כל תאי B האנושיים (Human B cells).**  
**(B) 1+2.** תאי דם אנושיים, בהם תאי B, הוזרקו לעכברים במטרה לגרות תגובה חיסונית (Immune response).  
**3.** תאי B מהעכברים המחוסנים גודלו אחד-אחד בצלחות תרביות (Culture dishes).  
**4.** נמצא תא B אחד של עכבר, אשר יצר נוגדן שנקשר (bind) ל-CD20 על תאי B אנושיים.  
**5.** השבט זה גודל ויוצר בכמויות (mass-produce), בתור מקור לנוגדן חד-שבטי (Monoclonal antibody) זה.



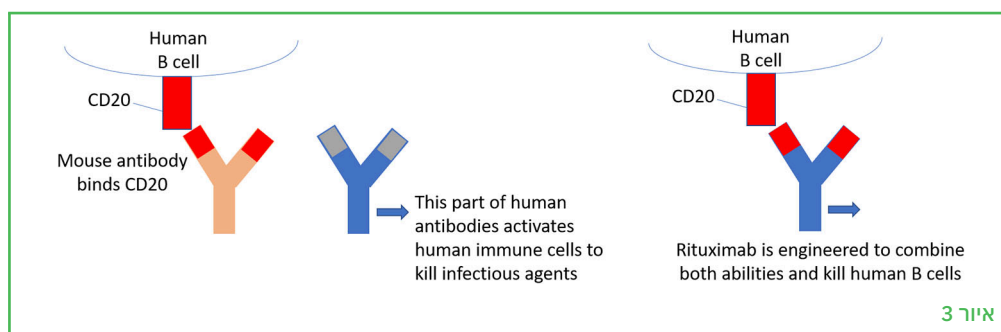
איור 2

## הפיכת נוגדנים ספציפיים ל-CD20 לתרופה שפועלת בבני אדם

ראינו כי מערכת החיסון הורגת גורמים מזדמנים שאליהם נקשר נוגדן. אם כן, האם אפשר להרוג תאי B מסוג לוקמיה או לימפומה פשוט על ידי הזרקת נוגדני CD20 מעכברים

למטופלים? לרוע המזל, נוגדנים מעכברים אינם פועלים היטב עם חלקים אחרים במערכת החיסון האנושית שנדרשים להריגת גורמים מזהמים המְצָפִים בנוגדנים. לכן, נדרש צעד אחד נוסף כדי ליצור תרופה יעילה [5].

נוגדנים מעוצבים בצורת האות 'Y', כשלחלקים השונים של ה-'Y' יש תפקודים שונים (איור 3). האנטיגן נקשר לשני הקצוות של ה-'Y', בעוד שגזע ה-'Y' מפעיל את מערכת החיסון להריגה. תהליך מעבדה שנקרא **הנדסה גנטית** יכול לשמש ליצירת מולקולות מלאכותיות, על ידי ארגון חומר גנטי בשילובים חדשים. קבוצת מדענים בתאגיד IDEC Pharmaceuticals, חברת ביוטכנולוגיה בסן דייגו, ארצות הברית, עשתה זאת ויצרה את הריטוקסימאב [1, 5, 6]. ריטוקסימאב מכילה את קצוות ה-'Y' מנוגדן חד-שבטי של עכבר, אשר נקשר ל-CD20. החלק הנוסף של הריטוקסימאב מגיע מנוגדן אנושי, אשר פועל היטב במערכת החיסון האנושית. הנוגדן המלאכותי הזה, חלקית אנושי-חלקית של עכבר, הוכח כתרופה יעילה להריגת תאי B.



איור 3

### הנדסה גנטית (Genetic engineering)

תהליך המעבדה שבו מדענים משנים דנ"א במטרה ליצור מולקולות או אורגניזמים בעלי תכונות חדשות.

### איור 3

#### כיצד יוצרה ריטוקסימאב.

משמאל לימין באיור: ריטוקסימאב מכילה חלק של נוגדן חד-שבטי מעכבר, אשר נקשר ל-CD20 אנושי, שמחובר לשאר מולקולות הנוגדן מבן אדם. מנגנון זה יכול לפעול בתוך מערכת החיסון האנושית כדי להרוג תאים שהנוגדן נקשר אליהם. שילוב זה אינו קיים בטבע, אך ניתן לייצרו באמצעות הנדסה גנטית (Genetic engineering).

ריטוקסימאב עברה מבדקי בטיחות בחיות, ואז ניתנה למטופלים שחלו בלימפומה של תאי B לסוגיה. התרופה הוכחה כהצלחה גדולה, ריפאה יותר אנשים בהשוואה לשילוב של תרופות שהרג תאים מתחלקים, ועוררה פחות תופעות לוואי חמורות. מאז 1997, כאשר ריטוקסימאב ניתנה לראשונה בהיקף נרחב למטופלי לימפומה, שיעורי ההישרדות של מטופלים גדלו מאוד. שילוב של ריטוקסימאב עם תרופות אחרות נמצא יעיל עוד יותר. בהמשך, נצפו תופעות גם בסוגים שונים של לוקמיה של תאי B [1]. כיום, ריטוקסימאב משמשת לטיפול במחלות אחרות שבהן תאי B גורמים נזק בלי להפוך לסרטניים [7]. נוכחנו כי לעיתים תאי B גורמים למחלות אוטואימוניות על ידי תקיפה מוטעית של אזור בריא בגוף. גם בחלק מהמחלות האלה, ריטוקסימאב, או נוגדנים דומים, מהווים טיפולים יעילים.

## מסקנות ותחזית

ראינו כי תרופה עוצמתית חדשה, ריטוקסימאב, נוצרה ראשית על ידי זיהוי תאי B של מערכת החיסון האנושית, באמצעות נוגדנים חד-שבטיים. הנדסה גנטית סייעה לשפר את יעילותם של נוגדנים חד-שבטיים אלה בהריגת תאי B סרטניים בגוף האדם. סיפור זה מדגיש כיצד מדענים ורופאים יכולים לעבוד יחד, במשך שנים רבות, במטרה לשפר חיים ולהאריכם. ריטוקסימאב הייתה אחד הנוגדנים החד-שבטיים הראשונים שפותחו במטרה לטפל בסוגים שונים של סרטן הדם האנושי. נוגדנים חד-שבטיים היו לתוצרים חשובים שמיוצרים על ידי תעשיית הביוטכנולוגיה לטיפול במחלות רבות, כמו גם לאבחון מחלות ולמחקרי מעבדה. מההצלחה של ריטוקסימאב ושל נוגדנים חד-שבטיים אחרים בטיפול במטופלים, כמו גם

מחלק מהכישלונות, אנו ממשיכים ללמוד עוד על המחלות עצמן. אולי באחד הימים אתם תצטרפו למאמץ הזה.

## תודות

אני מודה לפרופסור Simon Bowman, לדוקטור Frances Hall, לדוקטור Michele Bombardieri ולדוקטור Paul Lyons על שיתוף הפעולה בחקירת תאי T במטופלים שקיבלו ריטוקסימאב, כחלק מניסוי ה-TRACTISS.

## מקורות

1. Borman, S. 2005. The top pharmaceuticals that changed the world: Rituxan. *Chem Eng News*. 83. doi: 10.1021/cen-v083n025.p110
2. Kaiser, G., 2019. Adaptive immunity. In: *Microbiology*. Unit 6. Available online at: [https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Book%3A\\_Microbiology\\_\(Kaiser\)/Unit\\_6%3A\\_Adaptive\\_Immunity](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Book%3A_Microbiology_(Kaiser)/Unit_6%3A_Adaptive_Immunity) (accessed August 10, 2020).
3. The Nobel Prize in Physiology or Medicine. 1984. Available online at: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1984/summary/> (accessed August 10, 2020).
4. Esposito, M. 2020. Imatinib, the magic bullet for treatment of blood cancer. *Front. Young Minds* 8:17. doi: 10.3389/frym.2020.00017
5. Mohammed, R., Milne, A., Kayani, K., and Ojha, U. 2019. How the discovery of rituximab impacted the treatment of B-cell non-Hodgkin's lymphomas. *J. Blood Med.* 10:71–84. doi: 10.2147/JBM.S190784
6. Reff, M. E., Carner, K., Chambers, K. S., Chinn, P. C., Leonard, J. E., Raab, R., et al. 1994. Depletion of B cells in vivo by a chimeric mouse human monoclonal antibody to CD20. *Blood* 83:435–45. doi: 10.1182/blood.V83.2.435.435
7. Hofmann, K., Clauder, A.-K., and Manz R. A. 2018. Targeting B cells and plasma cells in autoimmune diseases. *Front Immunol* 9:835. doi: 10.3389/fimmu.2018.00835

פורסם אונליין: 27 בנובמבר 2023

נערך על ידי: Fulvio D'Acquisto

מנחים מדעיים: Jill Crittenden

**ציטוט:** Busch R (2023) ריטוקסימאב: 'גלולת פלא' לטיפול בסוגים מסוימים של סרטן הדם. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2021.594532-he

**תורגם והותאם מ:** Busch R (2021) Rituximab: A "Magic Bullet" for Treating Some Blood Cancers. *Front. Young Minds* 9:594532. doi: 10.3389/frym.2021.594532

**הצהרת ניגוד אינטרסים:** המחברים מצהירים כל המחקר נערך בהעדר כי קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

זכויות יוצרים © 2021 © Busch 2023. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

## סוקרים צעירים

### JAKOBY, גיל: 11

Jakoby אוהב לשחק כדורסל עם חברים, וגם לקרוא.



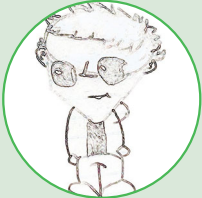
### JEREMY, גיל: 10

Jeremy אוהב לאפות, לנגן, לעסוק בספורט ולהאזין למוזיקה. כשאינו עושה אף אחד מהדברים האלה, הוא קורא ספרים בתחומי היסטוריה, מתמטיקה ומדע.



### KIRUBEL, גיל: 10

Kirubel אוהב לקרוא ספרים, לפתור מתמטיקה וללמוד על חיות על ידי צפייה בווידיאו. הוא גם אוהב לשחק כדורגל וכדורסל, ולצפות בסרטים.



### SYLVIA, גיל: 10

Sylvia נהנית לצייר את הדמויות מהסדרה 'משפחת סימפסון', והייתה רוצה ללמוד עוד על בריאות.

## הכותבים

### ROBERT BUSCH

אני עובד במחלקה למדעי החיים באוניברסיטת רוהמפטון בלונדון, בריטניה. מלמד על אודות מולקולות, תאים ומחלות שמשפיעים על מערכת החיסון. במחקר שלי, אני חוקר מולקולות שנקראות אנטיגנים של רקמות, שהם סיבה חשובה לכך שהשתלות איברים נדחות על ידי מערכת החיסון. אני מנסה להבין כיצד אנטיגנים של רקמות משפיעים על התפתחותן של מחלות אוטואימוניות. שיתפתי פעולה עם רופאים במטרה לחקור כיצד התרופה ריטוקסימאב משפיעה על מערכת החיסון. אני גם חוקר את ההשפעות של ויטמין D על תאי מערכת החיסון. בזמני הפנוי, אני שר במקלהות. [\\*robert.busch@roehampton.ac.uk](mailto:robert.busch@roehampton.ac.uk)

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים  
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس  
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל

Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK