

## טיפול בסרטן באמצעות קרינת רנטגן

Kristopher A. Lyons, Theodore H. Arsenault, Zi Ouyang\*

המחלקה לאונקולוגיית הקרנה, מרכז סרטן סידמן בבתי חולים אוניברסיטאיים, קליבלנד, אוהיו, ארצות הברית

### סוקרים צעירים

MANCHESTER  
YOUNG MINDS

גיל: 10-16



הקרנה היא טיפול חשוב בסרטן. מדי שנה, לפחות מחצית ממטופלי הסרטן בארצות הברית עוברים טיפול בקרינה, אשר בהם משמשות לעיתים קרובות קרני רנטגן. כיצד קרני רנטגן מיוצרות? באיזה אופן משתמשים ברנטגן כדי לטפל בסרטן? מאמר זה עונה על שאלות אלה, ומסביר את הפיזיקה שמאחורי הטיפול בקרינה.

### מהו סרטן?

גוף האדם מורכב מתאים. באופן נורמלי, תאים גדלים, מתחלקים, מבצעים את עבודתם ובסופו של דבר מתים. תאים מתחלקים במטרה לייצר תאים חדשים, ותאים חדשים מחליפים את התאים הישנים שגוססים או שמתו. קצב מאוזן של החלפת תאים הוא המפתח לתפקוד תקין של איברים, כמו גם לגדילתם ולהזדקנותם באופן תקין.

מסיבות שעדיין אינן ברורות למדענים, לפעמים תאים מתחילים להתחלק ללא שליטה. חלק מהתאים האלה הופכים לתאים סרטניים. חלוקה בלתי נשלטת של תאים יכולה ליצור צבר

### סרטן (Cancer)

מחלה שנגרמת על ידי גדילה והתחלקות בלתי נשלטת של תאים.

## גידול (Tumor)

חלק נפוח בגוף הרקמה, שנוצר כאשר תאים גדלים ומתחלקים יותר מכמה שהם אמורים.

## דנ"א (DNA)

חומר בתוך תא אשר מכיל הוראות לגדילת התא, התפתחותו, תפקודו והתרבותו.

## מאיץ ליניארי רפואי [Medical Linear Accelerator (LINAC)]

מכשיר המשתמש בחשמל במטרה ליצור זרם של חלקיקים שנעים מהר, כדי לייצר קרינה לטיפול בסרטן.

## קרינת רנטגן (X-ray Radiation)

אור באנרגיה גבוהה שמסוגל לחדור למוצקים.

של תאים שנקראת **גידול**, אשר עשוי לגדול ולפלוש לרקמות אחרות בגוף. גידולים יכולים להשפיע על תפקוד איברים, ועלולים להוביל למוות.

ניתוח, כימותרפיה וטיפול בקרינה הם סוגי הטיפול העיקריים שמשמשים להתמודדות עם סרטן. מטרתו של ניתוח היא להסיר את הגידול, אולם מטרת הטיפולים האחרים היא להרוס את התאים הסרטניים. **דנ"א** מכיל את ההוראות לחיים, ומצוי בתוך מרבית התאים, אפילו בתאים סרטניים. הריסת הדנ"א עשויה להרוג את התא, ולכן טיפולי סרטן רבים, כמו כימותרפיה והקרנה, מתמקדים בהריסת הדנ"א שבתוך תאים סרטניים [1]. בכל שנה, 50%-60 ממוטופלי הסרטן בארצות הברית עוברים טיפולים בקרינה [2]. ניתן לייצר קרינה בכמה דרכים. אחת מהן היא להשתמש במכשיר שנקרא **מאיץ ליניארי רפואי**, אשר מייצר קרני רנטגן.

## כיצד קרני רנטגן מיוצרות?

לפני שנפרט לגבי האופן שבו מאיץ ליניארי רפואי פועל, נתמקד באלקטרונים. אלקטרונים, עם פרוטונים ונויטרונים, הם הרכיבים הבסיסיים שמרכיבים כל דבר שאנו רואים: כדור הארץ, מים, מחשבים, גופים אנושיים, וכל שאר הדברים! אם ניקח חוט מתכת, כמו חוט מנורת חשמל ישנה, ונחמם אותו, אלקטרונים יצאו ממנו. החוט נהיה חם כל כך עד שאלקטרונים עוברים "רתיחה" ועוזבים את פני השטח שלו. כעת, יש לנו מעט אלקטרונים "חופשיים". לאלקטרונים יש מטענים שליליים, ולכן הם נמשכים למטענים חיוביים. המאיץ הליניארי הרפואי משתמש בתכונה הזו כדי להעניק לאלקטרונים אנרגיה רבה ולגרום להם לנוע במהירות גבוהה במיוחד במוליך גלים מאיץ. האנרגיה של אלקטרונים נמדדת באלקטרון-וולטים. המתח מְשָׁקֵע טיפוסית בביתכם נע בין 100 ל-240 וולטים, כתלות באזור בעולם שבו אתם גרים. מאיץ ליניארי רפואי, לעומת זאת, מאיץ את האלקטרונים לאנרגיה השקולה למיליוני וולטים.

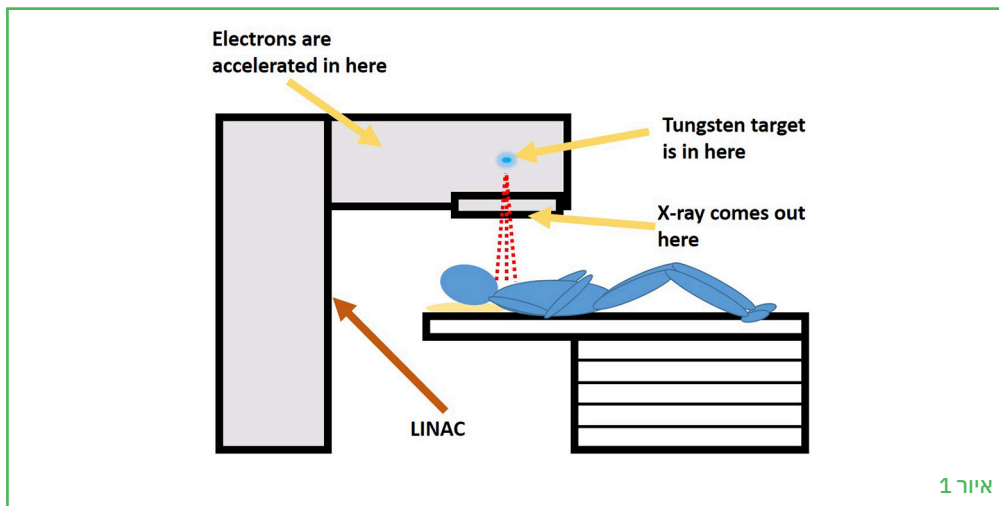
בתוך המאיץ הליניארי הרפואי, האלקטרונים האלה, שנעים מהר במיוחד, יפגעו במטרה, שבדרך כלל עשויה טונגסטן. טונגסטן היא מתכת דחוסה, מלאה בפרוטונים ובאלקטרונים. מה קורה כאשר האלקטרונים האלה שנעים מהר פוגעים במטרת טונגסטן? הם עשויים להתנגש עם הפרוטונים והאלקטרונים של המטרה, ולהעביר להם אנרגיה. לאנרגיה יש צורות שונות לרבות אור, חום ומהירות. חלק מהאנרגיה שנוצרת כאשר אלקטרונים פוגעים במטרת הטונגסטן נפלטת בצורת **קרינת רנטגן** [3]. **איור 1** מציג דיאגרמה של מאיץ ליניארי רפואי, עם מטופל על שולחן הטיפולים.

## טיפול בסרטן באמצעות רנטגן

קרני רנטגן הן סוג של אור שבני אדם אינם יכולים לראות, בניגוד לאור כחול או אדום למשל. כתוצאה מהאנרגיה הגבוהה שלהן, קרני רנטגן יכולות לחדור עמוק לתוך גוף אנושי, או אפילו לעבור ישר דרכו. ממש כפי שזכוכיות בהירות או צבועות חלקית הן שקופות לאור נראה, מרבית החלקים בגוף האדם שקופים לקרני רנטגן.

**איור 1**

אופן פעולתו של מאיץ ליניארי רפואי. בתוך מאיץ ליניארי רפואי (LINAC), אלקטרונים מואצים למהירויות גבוהות במיוחד ופוגעים במטרת טונגסטן. כאשר אלקטרונים פוגעים בפרוטונים או באלקטרונים של הטונגסטן, ההתנגשויות האלה מעבירות אנרגיה בצורה של קרינת רנטגן. קרני הרנטגן מכוננות למקום שבו נמצא גידול של המטופל.

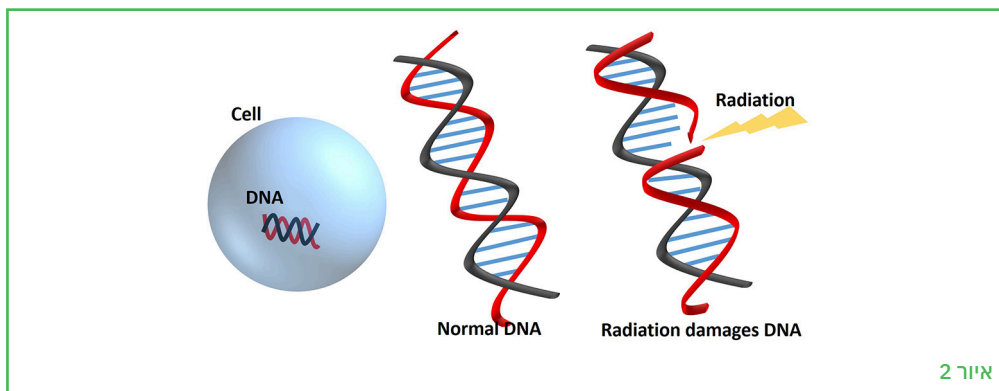


איור 1

ייתכן ששמעתם כי אור הוא גם גל וגם חלקיק. אף על פי שהדבר עשוי להישמע מבלבל, זה נכון! חלקיקי אור נקראים פוטונים. כדי לסייע להבין טוב יותר קרינת רנטגן, נצטרך לחשוב עליה בתור חלקיקים. גופים אנושיים הם כמעט שקופים ביחס לרנטגן, והמשמעות היא שחלק מהפוטונים עוברים דרך גוף אנושי כאילו אין שם כלום. אולם, חלק מהפוטונים מתנגשים בפרוטונים ואלקטרונים בגוף. ממש כמו עם טונגסטן במאיץ ליניארי רפואי, אנרגיה מועברת כאשר החלקיקים האלה מתנגשים זה בזה. האנרגיה שנפלטת היא כל כך חזקה שיש ביכולתה לפגוע בדנ"א של תאים בריאים ושל תאים סרטניים (איור 2). ברגע שמתרחש מספיק נזק לתא, הוא ימות מייד או שלא יהיה מסוגל להתחלק ולייצר תאים חדשים.

**איור 2**

השפעתה האפשרית של קרינה על הדנ"א. דנ"א נמצא במרבית התאים ומכיל את כל ההוראות הדרושות לשמירה על התא בחיים ולביצוע תפקידיו. האנרגיה הגבוהה של קרינה יכולה להזיק לדנ"א, מה שעלול לגרום לתא למות מייד, או למנוע ממנו להתחלק ולייצר תאים חדשים.



איור 2

כדי לטפל בסרטן, אנו רוצים להרוג את התאים הסרטניים ולהגן על תאים בריאים, אך פוטונים של רנטגן אינם יכולים להבדיל בין השניים. כיצד ניתן לפתור את הבעיה? ראשית, מרבית התאים הסרטניים מתחלקים מהר מאוד, בעוד שתאים נורמליים לא מתחלקים כל כך הרבה. במהלך התחלקות התא, הדנ"א של התא נחשף והוא פגיע לנזק מרנטגן. לכן, תאים סרטניים מהווים מטרות קלות יותר עבור קרני רנטגן. כתלות בסוג הסרטן, רופאים יציעו תוכנית טיפולים ספציפית שתאפשר לתאים נורמליים להישאר ללא נזק או להתאושש מהטיפול. לדוגמה, עבור סוגי סרטן שממוקמים עמוק בתוך הגוף מותאם טיפול המתוכנן כך שקרינת הרנטגן תחדור לגוף מזוויות שונות, והמטופלים עוברים הקרנות בימי טיפול שונים.

באמצעות כך, קרני הרנטגן מתמקדות בתאים הסרטניים, בעוד שתאים סובבים ניזוקים הרבה פחות.

## תופעות הלוואי של טיפולי קרינה

מאחר שקרינה עשויה להזיק לתאים בריאים, ישנן תופעות לוואי שקשורות לטיפול. תופעות הלוואי השכיחות ביותר כוללות אובדן שיער ואי-נוחות בעור. כמו כן מטופלים מתעייפים בקלות במהלך הטיפולים. טיפול בסרטן אינו פשוט, ובמרבית המקרים נדרש שימוש בכמה שיטות טיפול במטרה להשיג את התוצאות הטובות ביותר. אולם, לעיתים טיפול בסרטן עלול להיכשל. עדיין ישנן שאלות ללא מענה בתחום של טיפול בסרטן, ורופאים ומדענים לומדים ועורכים מחקרים במטרה להמשיך לחפש פתרונות טובים יותר.

מטופלים שעוברים טיפולי קרינה באמצעות קרני רנטגן שמיוצרות על ידי מאיץ ליניארי רפואי אינם נעשים רדיואקטיביים – הם לא פולטים קרינה. מקור הקרינה – מכשיר המאיץ – תמיד נמצא מחוץ לגופם של המטופלים, וזו הסיבה לכך שהקרינה לא תיפלט מתוך גופו של המטופל החוצה. כדי לטפל בחלק מסוגי הסרטן, במקום להשתמש במאיץ ליניארי רפואי, מטופלים עשויים לעבור הקרנה באמצעות מכשיר מושתל. במקרים כאלה, כאשר מקור הקרינה נמצא בתוך גוף המטופל, הוא עלול לפלוט קרינה. מטופלים אלה בדרך כלל נדרשים לעקוב אחרי הוראות מסוימות של רופאיהם לגבי האופן שבו כדאי להם לחזור לחיי היומיום לאחר טיפול הקרינה. לדוגמה, חלק מהמטופלים עשויים להצטרך לחכות כמה שבועות לפני שיוכלו להחזיק תינוק, או עשויים שלא להיות רשאים לטוס במטוס בלי מכתב המתיר זאת מטעם רופא.

## טיפול קרינה מצריך עבודת צוות

ייצור קרני רנטגן במאיץ ליניארי רפואי הוא שיטה מרתקת וחדשנית לטיפול בסרטן, והטכנולוגיה תמשיך להתפתח ולצמוח במטרה להועיל לחייהם של מטופלים. טיפול בסרטן באמצעות הקרנה מצריך עבודת צוות. צוות אונקולוגיית הקרינה כולל מומחים רבים. רופאים, אחיות ומטפלי הקרנה פוגשים מטופלים ומתקשרים עימם דרך הטיפול, בעוד שאנשי רפואה המתמחים במדדי הקרינה יוצרים תוכניות טיפול שיבוצעו באמצעות המאיץ הליניארי הרפואי. פיזיקאים רפואיים בודקים ומכילים את המאיץ לעיתים קרובות במטרה לוודא שהוא פועל באופן תקין ובבטחה. נוסף על כך צוות הטיפול כולל רופאים מסייעים, אחיות מסייעות, עובדים סוציאליים, מומחי אדמיניסטרציה ואחרים. לכל חבר צוות יש תפקיד חיוני שעליו לבצע, כדי לוודא שהמטופלים מקבלים את הטיפול המיטבי האפשרי.

## מקורות

1. Hall, E. J., and Amato J. G. 2006. *Radiobiology for the Radiologist*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
2. Halperin, E. C., Wazer, D. E., Perez, C. A., and Brady, L. W. 2013. *Perez & Brady's Principles and Practice of Radiation Oncology*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.

### צוות אונקולוגיית הקרינה (Radiation Oncology Team)

קבוצה של אנשי רפואה מקצועיים שמסייעים לטפל במטופלים באמצעות קרינה.

3. Khan, F. M., and Gibbons, J. P. 2014. *Khan's the Physics of Radiation Therapy*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.

פורסם אונליין: 24 באפריל 2023

עורכת: Bergithe Eikeland Oftedal

מנחה מדעית: Marianne Aznar

ציטוט: Lyons KA, Arsenault TH and Ouyang Z (2023) טיפול בסרטן באמצעות קרינת רנטגן. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2021.428516-he

תורגם והותאם מ: Lyons KA, Arsenault TH and Ouyang Z (2021) Treating Cancer With X-ray Radiation Therapy. Front. Young Minds 9:428516. doi: 10.3389/frym.2021.428516

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

**COPYRIGHT** © 2021 © Lyons, Arsenault and Ouyang 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 (ים) 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

MANCHESTER YOUNG MINDS, גיל: 10–16

אנו קבוצה של אנשים צעירים שחיים במנצ'סטר רבתי, יש לנו תשוקה למדע ולשירותי בריאות!

## הכותבים

### KRISTOPHER A. LYONS

היי, קוראים לי כריסטופר ליונס; כיום אני בהכשרת ההתמחות שלי בקליבלנד, אוהיו, בדרכי להפוך לפיזיקאי רפואי. כאשר הכשרתי תסתיים, אוכל לעבוד כפיזיקאי רפואי, כחלק מכך גם על מאיצים ליניאריים, ולהיות מעורב באופן פעיל בתוכניות לטיפול בסרטן. מחוץ לעבודה, אני נהנה להיות באוויר הפתוח, לקרוא, ללכת לקולג' ולקחת חלק בספורט מקצועי.

### THEODORE H. ARSENAULT

אני פיזיקאי שמתעניין בהבנת האופן שבו פוטונים מתקשרים עם תאים במטרה להרוג תאים סרטניים. כדי לעשות זאת, אני משתמש במאיצים קליניים ליניאריים במטרה לאתר תאים סרטניים באמצעות חלקיקים באנרגיות גבוהות. על ידי הבנת הביולוגיה הזו, אני מקווה שנוכל בסופו של דבר לפתח טיפולים יעילים



לסוגים שונים של סרטן. בזמני הפנוי, אני נהנה לטייל ולשחק גולף עם חבריי. תודה לסוקרים הצעירים על המשוב ועל התלהבותם ממדע!

### ZI OUYANG

אני פיזיקאית רפואית במחלקה לאונקולוגיית הקרנה. עובדת על מכונות ההקרנה במטרה לוודא את בטיחות טיפול ההקרנה ודיוקו. אני מסייעת לאורך הטיפול, ומספקת ייעוץ פיזיקלי כאשר נדרש. [\\*zi.ouyang@uhhospitals.org](mailto:zi.ouyang@uhhospitals.org)



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