

טוקסופלזמה גונדי: מיקרוב שהופך עכברים לזומבים

Flávia Costa Mendonça-Natividade, Rafael Ricci-Azevedo*

המעבדה לאימונכימיה וגליקוביולוגיה, המחלקה לביולוגיה מולקולרית וביולוגיה של התא ולסוכנים ביולוגים פתוגנים, בית ספר רפואי ריביירו, אוניברסיטת סאו פאולו (FMRP/USP), ריביירו פרטו, ברזיל

האם ידעתם שישנם מיקרובים שמסוגלים להפוך עכברים לזומבים? זה נשמע כמו מיתוס, לא כן? אולם זה אמיתי! שם המיקרוב הזה הוא טוקסופלזמה גונדי, והוא טפיל בעל יכולת להשפיע על מגוון רחב של חיות, כולל בני אדם, ולשגשג בשרירים, בעיניים ובמוחות שלהם. ט. גונדי יכול גם לשנות את ההתנהגות של חיות שהמוח שלהם זוהם, ויכול לגרום לעכברים לאבד את פחדם מהיאכלות על ידי חתולים. במאמר זה תכירו קצת יותר את הטפיל הזה, ואת האופן שבו הוא הופך עכברים לזומבים!

מהו טוקסופלזמה גונדי וכיצד הוא משפיע על חיות?

ט. גונדי הוא מיקרוב חד-תאי שגודלו כ-6 מיקרומטרים (מיקרומטר הוא אלפית המילימטר), כלומר קטן פי כ-550 מזרע של תפוח (3.3 מילימטרים)! האורגניזם הזה זעיר כל כך שאנו יכולים לראות אותו רק באמצעות עדשותיו העוצמתיות של מיקרוסקופ. ט. גונדי שורד ומתרבה רק כשהוא מזהם תא חי, וזו הסיבה לכך שהוא מסוגל **כטפיל**. החיות שטפילים מזהמים נקראות **מארחים**, ולטפילים לעיתים קרובות יש מחזורי חיים מורכבים שכוללים צורות שונות של הטפיל ומארחים רבים.

סוקרים צעירים

CLEVEDEN
SECONDARY
גיל: 15



טפיל

(Parasite)

כל אורגניזם שחי בתוך אורגניזם אחר או עליו בלי להועיל לאורגניזם המארח; בדרך כלל זה מתייחס לפתוגנים; לרוב, זה נוגע לפרוטוזואונים ולתולעים טפיליות.

מארח

(Host)

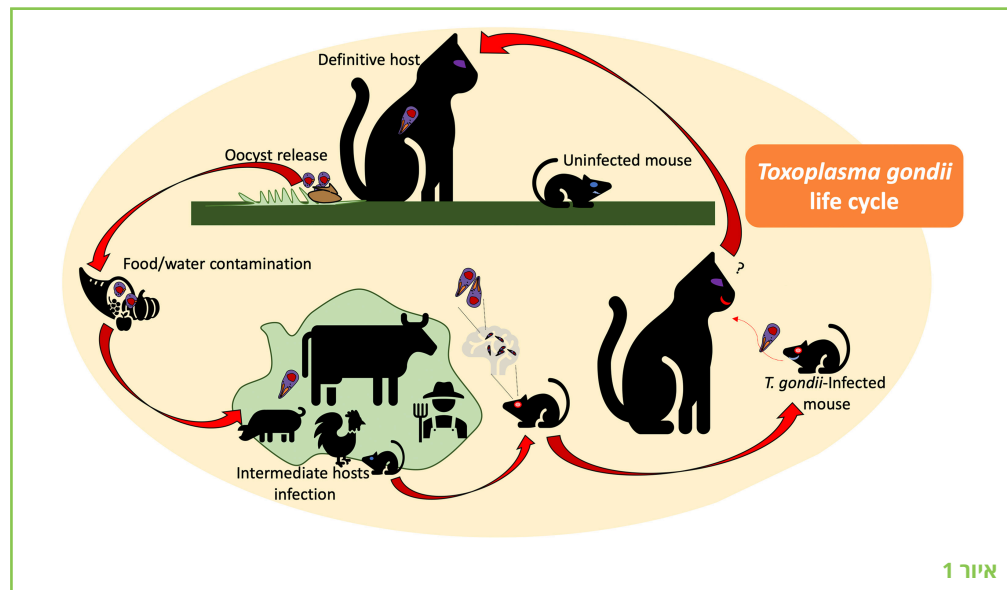
בביולוגיה, מארח הוא אורגניזם שנותן מחסה לאורגניזם אחר, ובדרך כלל מספק לו הזנה. המארח יכול להגן על אורח טפילי, הדדי, או על "אורח" הסמוך לשולחנו (סימביונט).

איור 1

מעגל החיים של

טוקסופלזמה גונדי.

המארחים השלמים של טוקסופלזמה גונדי הם החתוליים (חתולים מבויתים וקרוביהם). ט. גונדי מוחבאים בצואתו של החתול. מארחי ביניים (ציפורים, יונקים, כולל חיות שמגודלות עבור צריכה אנושית, ובני האדם עצמם) לעיתים קרובות נדבקים כמו כתוצאה מגורמים סביבתיים, למשל אכילת אדמה, מים, או ירקות שמוזהמים עם אוציסטים. אחרי שהם עוכלו, הטפילים מתפשטים לרקמות העצבים והשרירים. בדרך כלל, מערכת החיסון של המארח פועלת טוב והטפילים האלה מתפתחים לרקמת ציסטה, שהיא צורה רדומה של ט. גונדי. חתולים חדשים נדבקים על ידי עיכול ישיר של אוציסטים סביבתיים, או על ידי צריכת מארחי ביניים שכוללים רקמות ציסטה, כמו למשל עכברים. באופן מעניין, אם עכברים מזהמים על ידי טפיל, הם מאבדים את הפחד שלהם מפני היאכלות על ידי חתולים. זה נראה כאילו שהעכברים הופכים לזומבים כתוצאה מזיהום על ידי ט. גונדי, מה שהופך אותם לטרף קל לחתולים.



מחזור החיים של ט. גונדי מוצג באיור 1. חתולים הם אחד המארחים של ט. גונדי, והם המארח היחיד שבו הטפיל הזה מייצר מבנים שנקראים **אוציסטים**. אוציסט הוא מבנה בעל דופן עבה, שבתוכו הטפיל יכול לשרוד זמן רב מחוץ למארח. כאשר חתולים מזהמים, הם משחררים את האוציסט של הטפיל לתוך הסביבה דרך הצואה שלהם. כאשר חיות אחרות כמו למשל ציפורים, עכברים, פרות ואפילו בני אדם, מעכלים מים, ירקות, או בשר שמזוהם עם אוציסטים, החיות האלה יכולות להזדהם. ברגע שהפרזיט נמצא בתוך מארח חדש, הטפיל מגיח מתוך האוציסט ומתרבה. כעת מתחיל המאבק בין הטפיל לבין **מערכת החיסון** של המארח. אחרי שפולש לתא מארח, ט.גונדי מנסה להגן על עצמו כנגד התקפות של מערכת החיסון של המארח באמצעות יצירה של תא דמוי בועה בתוך תא המארח. בתוך התא הזה, הטפיל מתחלק פעמים רבות, מספיק כדי למלא את כל התא, עד לנקודה שבה תא המארח מתפוצץ! הטפילים האלה חופשיים כעת לזהם תאים חדשים במארח. לאחר מכן, המחזור הזה חוזר על עצמו. מחזור החיים של התרבות הטפיל הוא מה שגורם למחלה הידועה בשם **טוקסופלזמוזיס**.

בינתיים, מערכת החיסון של החיה המזוהמת נאבקת להרוג את ט. גונדי או לפחות לחסום את ההתרבות שלו. לכן, כדי להימנע מהתקפה שמגיעה ממערכת החיסון של המארח, הטפיל לעיתים קרובות הופך לצורתו הרדומה, ושוב רדום בשרירים, בעיניים ובמוחות של החיות המזוהמות. הטפילים עשויים לישון לְנֶצַח בלי לגרום נזק, אם מערכת החיסון של המארח פועלת בצורה טובה.

מה קורה כשט. גונדי נכנס למוח?

אולם כיצד חתולים מזהמים עם ט. גונדי מלכתחילה? טוב, כפי שכולם יודעים, חתולים אוהבים לצוד עכברים ולאכול אותם. אם חתול אוכל עכבר שמזוהם עם ט. גונדי, החתול יעשה מזוהם. כאן הדברים נעשים אפילו מעניינים יותר. הזכרנו שט. גונדי יכול להשפיע על מוחו של המארח. המוח שולט על כל התפקודים החיוניים של החיה, ולכן אם הטפילים מתמקמים במוח, זה יכול להיות מזיק. בואו נגלה מה עלול לקרות אם מוחו של עכבר מזוהם על ידי ט. גונדי. עכברים בדרך כלל פוחדים מחתולים, מאחר שחתולים הם הטורפים שמהווים איום תמידי וגדול על

אוציסט

(Oocyst)

שלב קשיח ובעל דופן עבה במחזור החיים של טפילים מסוימים. זה השלב שבו הטפיל מוחבא בצואתם של החיות שזוהמו.

מערכת חיסון

(Immune System)

נקראת גם מנגנון ההגנה הטבעי, זוהי רשת מורכבת של תאים מתקשרים, מוצרי תאים ורקמות שמייצרות תאים אשר מגינים על הגוף מפני פתוגנים וחומרים זרים אחרים.

טוקסופלזמוזיס

(Toxoplasmosis)

מחלה טפילית שנגרמת על ידי טוקסופלזמה גונדי.

אמיגדלה (Amygdala)

מסה תאית זעירה בצורת שקד שממוקמת עמוק ובמרכז האונות הרקתיות של המוח בחסרי חוליות מורכבים. זהו אזור במוח שאחראי על עיבוד זיכרון, קבלת החלטות ותגובות רגשיות (כולל פחד, חרדה ואגרסיה).

עכברים. אולם כאשר המוחות של עכברים מזוהמים על ידי *ט. גונדי*, הם מאבדים את פחדם מפני חתולים, ויכולים בקלות להביט ישירות לעיניהם בלי לברוח. לכן, נדמה שהטפיל הופך את העכברים לזומבים חסרי פחד! זה לא משוגע בעיניכם? עכברים מאבדים את פחדם מפני חתולים ומסתכנים בהיאכלות על ידם! זה מתרחש מאחר שברגע שהטפיל נמצא בתוך מוחו של העכבר הוא עשוי לשבש את תקשורת תאי העצב באזור במוח שנקרא **אמיגדלה**, שאחראי על תחושת פחד [1]. אף על פי שזהו מצב טראגי עבור העכבר, זהו מצב מצוין עבור *ט. גונדי* מאחר שעכברים מזוהמים ייאכלו לעיתים קרובות יותר על ידי חתולים, מה שמסייע לטפילים להתרבות!

האם בני אדם יכולים להיות מזוהמים על ידי *ט. גונדי*?

אמרנו לכם ש*ט. גונדי* יכול להשפיע על יונקים, ובני אדם הם יונקים... אם כן, האם התאים שלנו יכולים להיות מזוהמים גם על ידי הטפיל הזה? התשובה היא כן! נמצא שכ-30-50% מהאוכלוסייה העולמית מזוהמת על ידי *ט. גונדי* [2]. מעריכים גם ש-50-80% מהברזילאים מזוהמים, וכבר יש להם תסמינים של טוקסופלזמוזיס [3]. בדרך כלל, אצל אנשים בריאים שמזוהמים על ידי *ט. גונדי* לא מופיעים תסמינים, מאחר שמערכת החיסון שלהם מונעת מהטפיל לגרום לטוקסופלזמוזיס. כאשר אצל אנשים מזוהמים כן מופיעים תסמינים, הם בדרך כלל דמויי-שפעת, כמו למשל כאב שרירים, חום וכאב ראש. התסמינים האלה יכולים להימשך שבועות עד חודשים, ואז לעבור. אולם הטפיל נשאר בגוף במצב הלא פעיל אפילו אחרי שהתסמינים כבר נעלמו לגמרי. אם מערכת החיסון של האדם נעשית מדוכאת בשלב מסוים, הטפילים יכולים להיות מופעלים מחדש, ואז הם מסוגלים לזהם תאים אחרים ולהתרבות. ברגע שהם ערים, הטפילים יכולים לגרום נזק חמור לעיניים ולמוח. נוסף על כך אם אישה הרה מזוהמת, הטפילים יכולים להיות מועברים לעובר ולגרום לתפקודים לקויים.

האם *ט. גונדי* יכול להשפיע על מוחות של בני אדם כמו שהוא משפיע על עכברים? כמה עובדות מעניינות מציעות שהטפיל הזה יכול להשפיע על בני אדם כשהוא נכנס למוחות שלהם. מדענים תיארו את זה שאצל אנשים בלי היסטוריה של מחלות נפש, *ט. גונדי* יכול לגרום להתנהגות אבנורמלית. הם מצאו מתאם בין זיהום על ידי *ט. גונדי* לבין אלימות שמכוונת פנימה, כולל התאבדות [4]. מחקר אחר הראה שלסטודנטים עם טוקסופלזמוזיס היו סיכויים גדולים יותר להיות אנשי עסקים כתוצאה מ"חוסר החשש שלהם מכישלון", ביחס לאנשים שלא זוהמו על ידי הטפיל [5]. אף על פי שהממצאים האלה מעניינים, נדרש מחקר נוסף כדי להבין את ההשלכות המנטליות והפסיכולוגיות של זיהום על ידי הטפיל הזה.

כיצד אנו יכולים להגן על עצמנו מפני טוקסופלזמוזיס?

לרוע המזל, כיום אין חיסון עבור טוקסופלזמוזיס. אולם חוקרים רבים ברחבי העולם חוקרים את *ט. גונדי*, ומחפשים חיסון יעיל כנגד הטפיל הזה [6, 7]. נוסף על כך חשוב לזכור שברגע שהמארחים מזוהמים, הם לא יוכלו להיפטר לחלוטין מט. *גונדי*. התרפות שמשמשות להילחם בטפיל הזה לא הורסות טפילים רדומים. אם מערכת החיסון של המארח תיחלש בשלב כלשהו, הטפילים הרדומים האלה עשויים להתעורר ולגרום לתסמינים טיפוסיים של טוקסופלזמוזיס. זו הסיבה לכך שכל כך חשוב להימנע מזיהום על ידי *ט. גונדי* מלכתחילה. זיהום יכול להתרחש אם מעכלים מים או מזון שמזוהם בצואת חתולים. אולם החתול שלכם אינו אשם, אז אל תנטשו את חיית המחמד שלכם. חתולים בדרך כלל מחביאים את צואתם בחול או באדמה, ולכן הזיהום

מתרחש בדרך כלל כתוצאה מגורמים סביבתיים. הנה כמה טיפים להימנעות מזיהום על ידי הטפיל הזה:

- (1) השליכו את האשפה מקופסת הצרכים של החתול.
- (2) שטפו את ידיכם ביסודיות אחרי שאתם משחקים בחול או באדמה, במיוחד לפני ארוחות.
- (3) נקו ביסודיות את כל הפירות והירקות לפני בישולם או אכילתם.
- (4) שטפו את כלי המטבח ביסודיות.
- (5) שתו מים או משקאות אחרים רק אם הם מסוננים או אם הם מגיעים ממקורות אמינים.
- (6) אל תאכלו בשר שאינו מבושל מספיק, ואל תתנו אותו לחתול שלכם.

במאמר הזה סיפרנו לכם על האופן שבו טוקסופלזמוזיס מתרחש, וחלק מההשפעות הלא נעימות שמתעוררות בעקבות זיהום על ידי ט. גונדי. כמו כן, חלקנו איתכם כמה דרכים להגן על עצמכם. כעת, אתם יכולים להפיץ את המידע הזה לחבריכם ולמשפחתכם. זכרו, רק הרגלי היגינה טובים מגינים עליכם מפני זיהום.

מקורות

1. Vyas, A., Kim, S. K., Giacomini, N., Boothroyd, J. C., and Sapolsky, R. M. 2007. Behavioral changes induced by *Toxoplasma* infection of rodents are highly specific to aversion of cat odors. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104:6442–7. doi: 10.1073/pnas.0608310104
2. Flegr, J., Prandota, J., Sovi ková, M., and Israili, Z. H. 2014. Toxoplasmosis—a global threat. Correlation of latent toxoplasmosis with specific disease burden in a set of 88 countries. *PLoS ONE* 9:e90203. doi: 10.1371/journal.pone.0090203
3. Dubey, J. P., Lago, E. G., Gennari, S. M., Su, C., and Jones, J. L. 2012. Toxoplasmosis in humans and animals in Brazil: high prevalence, high burden of disease, and epidemiology. *Parasitology* 139:1375–424. doi: 10.1017/S0031182012000765
4. Arling, T. A., Yolken, R. H., Lapidus, M., Langenberg, P., Dickerson, F. B., Zimmerman, S. A., et al. 2009. *Toxoplasma gondii* antibody titers and history of suicide attempts in patients with recurrent mood disorders. *J. Nerv. Ment. Dis.* 197:905–8. doi: 10.1097/NMD.0b013e3181c29a23
5. Johnson, S. K., Fitz, M. A., Lerner, D. A., Calhoun, D. M., Beldon, M. A., Chan, E. T., et al. Risky business: linking *Toxoplasma gondii* infection and entrepreneurship behaviours across individuals and countries. *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 285:20180822. doi: 10.1098/rspb.2018.0822
6. Zhang, N. Z., Chen, J., Wang, M., Petersen, E., and Zhu, X. Q. 2013. Vaccines against *Toxoplasma gondii*: new developments and perspectives. *Expert Rev. Vaccines* 12:1287–99. doi: 10.1586/14760584.2013.844652
7. Pinzan, C. F., Sardinha-Silva, A., Almeida, F., Lai, L., Lopes, C. D., Lourenço, E. V., et al. 2015. Vaccination with recombinant microneme proteins confers protection against experimental toxoplasmosis in mice. *PLoS ONE* 10:e0143087. doi: 10.1371/journal.pone.0143087

פורסם אונליין: 07 במרץ 2022

נערך על ידי: Valerie Gerriets

מנחה מדעי: Richard Burchmore

ציטוט: Mendonça-Natividade FC and Ricci-Azevedo R (2022) טוקסופלזמה גונדי: מיקרוב שהופך עכברים לזומבים. doi: 10.3389/frym.2020.00036-he. Front. Young Minds.

Mendonça-Natividade FC and Ricci-Azevedo R (2020) *Toxoplasma gondii*: תורגם והותאם: A Microbe That Turns Mice Into Zombies. Front. Young Minds 8:36. doi: 10.3389/frym.2020.00036

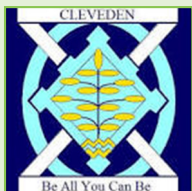
הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © 2020 © Mendonça-Natividade and Ricci-Azevedo 2022. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). 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

CLEVEDEN SECONDARY, גיל: 15

אנחנו כיתת ביולוגיה מבית ספר תיכון Cleveden בגלזגו.



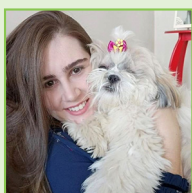
הכותבים

FLÁVIA COSTA MENDONÇA-NATIVIDADE

Flávia היא ביוכימאית שכיום עובדת כפוסט-דוקטורנטית באוניברסיטת סאו פאולו, ברזיל. היא חוקרת את האופן שבו לקטינים מטוקסופלזמה גונדי מזהים סוכרים על תאים חיסוניים, וכיצד זה משפיע על התפתחות הזיהום. בזמנה הפנוי Flávia אוהבת לקרוא, לצפות בסדרות טלוויזיה, לטייל ולבלות עם שני כלביה הקטנים.

RAFAEL RICCI-AZEVEDO

Rafael הוא ביולוג שכיום עובד כפוסט-דוקטורנט באוניברסיטת סאו פאולו, ברזיל. Rafael מתמקד בהבנת האופן שבו ניוטרופילים (שהם התאים הראשונים במערכת החיסון שמגיבים לפולשים) מגיבים ללקטינים מפתוגנים, וכיצד זה משפיע על תוצאת הזיהום. מעבר לתשוקתו למדע, Rafael אוהב לטייל ולצלם את יופי הטבע. *rrazevedo@gmail.com



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



הוצאת פרונטייה מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK