

מדוע המוח אינו מחלים כמו העור שלכם?

Nina Weishaupt^{1*}, Angela Zhang²

¹אוניברסיטת מערב אונטריו, לונדון, אונטריו, קנדה

²אוניברסיטת McGill, מונטריאול, קוויבק, קנדה

פציעות עור כגון שריטות וחתכים עלולות לגרום לכאב, אבל בדרך כלל הן מחלימות באופן מושלם. במקרה הגרוע ביותר, אולי תישאר צלקת. לעומת זאת כאשר המוח נפצע, לעיתים האדם נשאר נכה לשארית חייו. מה כל כך שונה במוח, ואיך הוא מתקן את עצמו? לאחר פציעה, למשל, על-ידי זעזוע מוח או שֶבֶץ מוחי, עומדים בפני תאי המוח אתגרים ייחודיים. כדי להתמודד עם אתגרים אלה יש למוח אסטרטגיה מתוחכמת להתמודדות עם פציעות.

המוח פגיע במיוחד

המוח וחוט השֶדֶרָה יוצרים יחד את מה שנקרא מערכת העצבים המרכזית. כאשר התבוננתם בשלד, האם אי פעם שאלתם את עצמכם מדוע המוח וחוט השדרה הם האיברים היחידים בגוף שלנו שסגורים בתוך עצם? האמת היא שגם הריאות והלב מוגנים היטב על-ידי קשת הצלעות, אבל, כאשר אתם מתבוננים בגולגולת – ביסודו של דבר מדובר בקופסת עצמות שיש בה כמה חורים כדי לאפשר לעצבים לצאת מהמוח. בהשוואה לאיברים רבים אחרים, מערכת העצבים היא ייחודית בכך שאיננה מתרחבת או מתכווצת כמו הלב, הריאות והמעיים. היות שאין לה תנועה משמעותית, אין בעיה בכך שמערכת העצבים המרכזית סגורה לחלוטין בעצם. מדוע

סוקרים צעירים

TRAFALGAR
SCHOOL
FOR GIRLS
גיל: 12-13



חוט השֶדֶרָה (Spinal cord)

חלק במערכת העצבים המרכזית הנמצא בעמוד השדרה, שהוא מִבְּנֵה העצם לאורך הגב. חוט השדרה אחראי בעיקר לקליטת תחושות שונות מהגוף ושליחת פקודות תנועה למוח לעיבוד, כמו גם שליחת פקודות תנועה למוח לזרועות ולרגליים.

ניורונים (Neurons)

תאי עצב במוח המקבלים אותות מתאי עצב אחרים, מעבדים אותם ואז שולחים אותות חדשים לתאי עצב שונים. רשת זו של קשרי ניורונים היא הבסיס לכל העבודה שמבצעת מערכת העצבים המרכזית, כך שאתם יכולים לחשוב, לנוע ולחוש דברים.

זעזוע מוח (Concussion)

זעזוע מוח מתרחש כאשר הראש מקבל מכה חזקה, והמוח נחבט בגולגולת. אם זעזוע המוח חמור האדם עלול לראות כוכבים מול עיניו, הוא עלול לא לזכור איזה יום היום והוא עלול לחוש בחילה.

שבץ מוחי (Stroke)

שבץ מוחי מתרחש כאשר אספקת הדם לאזור המוח נפגעת. תאי העצב באותו אזור מתים במהירות אם הם מפסיקים לקבל מהדם את החומרים החיוניים להם כגון סוכר וחמצן.

<http://www.eurostemcell.org/commentanalysis/stem-cell-therapies-and-neurological-disorders-brain-what-truth>

מחלות ניורולוגיות ניוניות (Neurodegenerative diseases)

מחלות שבהן ניורונים מתים (או מתנוונים, שפירושו כי הם מתים), היות שאינם יכולים להתמודד עם אתגרים העומדים מולם. רוב האתגרים האלה הם תהליכים כימיים מורכבים.

מערכת העצבים המרכזית מוגנת טוב כל כך? התשובה פשוטה: בגלל היותה רגישה במיוחד ופגיעה מאוד.

איזה איבר בגוף, לדעתכם, נפגע בתדירות הכי גבוהה? כנראה העור. חשבו על אותה פעם שנפלתם, העור שלכם נקרע ונפתח ולמשך זמן מה היה לכם פצע כגון שריטה או חתך. אם עבר זמן מה מאז פציעה זו, רוב הסיכויים שכבר לא תראו כלל את נקודת הפציעה על העור שלכם או אולי תראו רק צלקת. בעיקרו של דבר, העור מסוגל לתקן את עצמו באופן כמעט מושלם. לרוע המזל, המוח וחוט השדרה שונים מהעור במהותם. אם המוח נפצע, חלק מהנזק עלול להישאר לכל החיים.

מדוע המוח אינו יכול לתקן את עצמו כפי שעושה העור? תאי עצב אינם מחזקים את עצמם

תאי העור שלכם ממשיכים להתחלק – הם מתים ויוצרים תאים חדשים כל הזמן, גם כאשר אינכם פצועים. אחרי פציעה, העור מייצר הרבה תאים חדשים ומשתמש בהם לריפוי הפצע. עם זה תאי העצב שבמוח שלכם, הנקראים גם **ניורונים**, אינם מחדשים את עצמם. הם אינם מתחלקים כלל. יש רק מעט יוצאי דופן לכלל זה – רק בשני מקומות מיוחדים במוח נוצרים ניורונים חדשים – אבל, ברוב האזורים המוח אינו יכול להחליף את מלאי הניורונים המתים. הדבר מדאיג במיוחד היות שהניורונים הם תאים רגישים מאוד, והם מתים מכל מיני סיבות. כאשר נחבלים בראש ויש **זעזוע מוח**, ניורונים מתים. כאשר יש תקלה באספקת הדם למוח, הנקראת גם **שבץ מוחי**, ניורונים מתים. ניורונים מתים גם כאשר חלים שינויים בתפקוד שלהם, דבר הקורה **במחלות ניורולוגיות ניווניות** כגון פרקינסון ואלצהיימר.

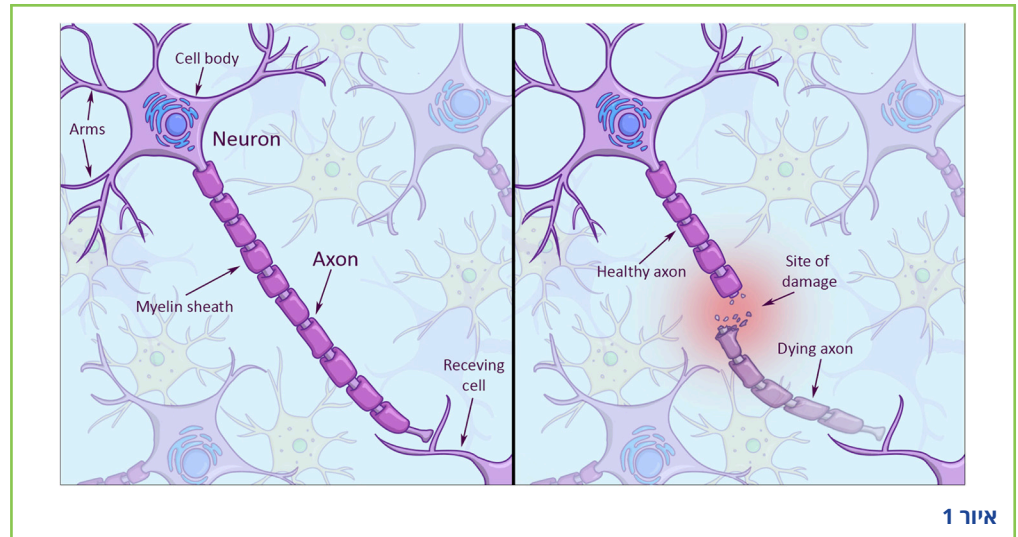
והנה החדשות הטובות. היות שאובדן ניורונים הוא בדרך כלל לנצח, מדענים עובדים על שתי אסטרטגיות חשובות כדי לעזור למוח לאחר פציעה. דרך אחת היא להגן על מערכת העצבים מיד לאחר שמתרחש הנזק. נזק זה יכול להיות שבץ מוחי, זעזוע מוח חמור או כל פציעה אחרת. אם איכשהו נצליח להגביל את מספר הניורונים שמתים בשלב מוקדם אחרי הפציעה, נצליח לשמור על נזק מינימלי. דרך שנייה היא לעזור בתיקון הנזק בשלב מאוחר יותר של הפציעה, אחרי שהנזק כבר נגרם. יש מדענים המנסים להשתמש ב**תאי גזע** כטיפול באובדן ניורונים במוח¹ תאי גזע אלה הם תאים צעירים שעדיין לא התפתחו לתאים "מתמחים". יש להם יכולת להתפתח לניורונים חדשים לגמרי, כאשר המדענים מטפלים בהם בעזרת מולקולות מיוחדות. הדבר דומה מעט לתלמידי בית ספר יסודי שעדיין אינם רופאים או שרברבים, אבל יש בהם את היכולות לעסוק בכל מקצוע אפשרי בעתיד אם יקבלו את האמון הנכון. האתגר הגדול ביותר של החלפת ניורונים מתים בתאי גזע הוא לגרום לאותם ניורונים חדשים להתמזג נכון עם רשת הניורונים שכבר קיימת במוח או להתאים את עצמם אליה. הניורונים החדשים אינם יכולים סתם להיות במוח, אנו צריכים שהם ייצרו קשרים עם תאים אחרים ויבצעו את העבודה שכל הניורונים מבצעים: עיבוד אותות.

תאי עצב מתקשים לגדל מחדש חלקים שניזוקו

אם תתבוננו במבנה של ניורון תראו שהוא מורכב מגוף התא ומכמה זרועות המשמשות אותו כדי להיקשר לניורונים אחרים ו"לדבר" עימם (איור 1, שמאל). הזרוע הארוכה ביותר השולחת

איור 1

שמאל: מבנה תא מוח. שימו לב לזרועות דמויות ההסתעפות שנמתחות מגוף התא (פינה שמאלית עליונה). הזרועות אלה מקבלות אותות נכנסים. הזרוע הארוכה ממש הנמתחת למטה מימין נקראת אקסון, והיא שולחת אותות לתא מקבל. האקסון מכוסה בקרום מיאלין (בסגול כהה יותר), המסייע לאותות לעבור מהר יותר לאורך האקסון ואל התא המקבל. **ימין:** כאשר אקסון נפצע קצתו מת ונותר גֶדֶם של האקסון. הגדמים מתקשים לגדול חזרה אחרי הפציעה.



איור 1

- זרועות = Arms
- גוף התא = Cell body
- נוירון = Neuron
- קרום = Myelin sheath
- המיאלין
- אקסון = Axon
- תא מקבל = Receiving cell
- אקסון בריא = Healthy axon
- אזור = Site of damage
- הנזק
- אקסון מת = Dying axon

תאי גזע

(Stem cells)

תאים בלתי מפותחים שלא התפתחו לתאי עור "מתמחים" או לתאי עצב או לכל סוג תא אחר בגוף. יש להם יכולת להתפתח לכל סוג של תא בגופכם, וההתמחות העתידית שלהם נקבעת על-ידי סוג המולקולות שבסביבתם, כאשר הם מתפתחים. הם יכולים להתפתח לכל תא "מתמחה", כולל נוירונים, כאשר מדענים מטפלים בהם במולקולות מסוימות.

קרום המיאלין

(Myelin sheath)

כיסוי שומני סביב האקסונים, המאפשר לאותות לנוע לאורך האקסון מהר ככל האפשר. למשל, קרום זה מאפשר לכם להגיב במהירות כאשר אתם פוצעים את עצמכם, כמו במשכת היד לאחר לחיצה בגינה בתנור חם.

אותות לנוירונים אחרים נקראת אקסון, והאקסונים יכולים להיות ממש ארוכים. אם אקסון נפגע בדרכו לתא אחר, החלק שניזוק באקסון ימות (איור 1, ימין), בעוד שהנוירון עצמו עשוי לשרוד עם גֶדֶם במקום זרוע. הבעיה היא שנוירונים במערכת העצבים המרכזית מתקשים לגדל מחדש אקסונים מהגדמים שנותרים. מדוע לתאי עור אין בעיה כזו? המבנה של תאי העור פשוט הרבה יותר. היות שהם יכולים להתחלק לתאים חדשים לגמרי, הם אינם צריכים להתמודד עם הצורך לתקן חלקים של עצמם.

אם כן, מדוע נוירונים שניזוקו מתקשים לגדל מחדש את האקסונים?

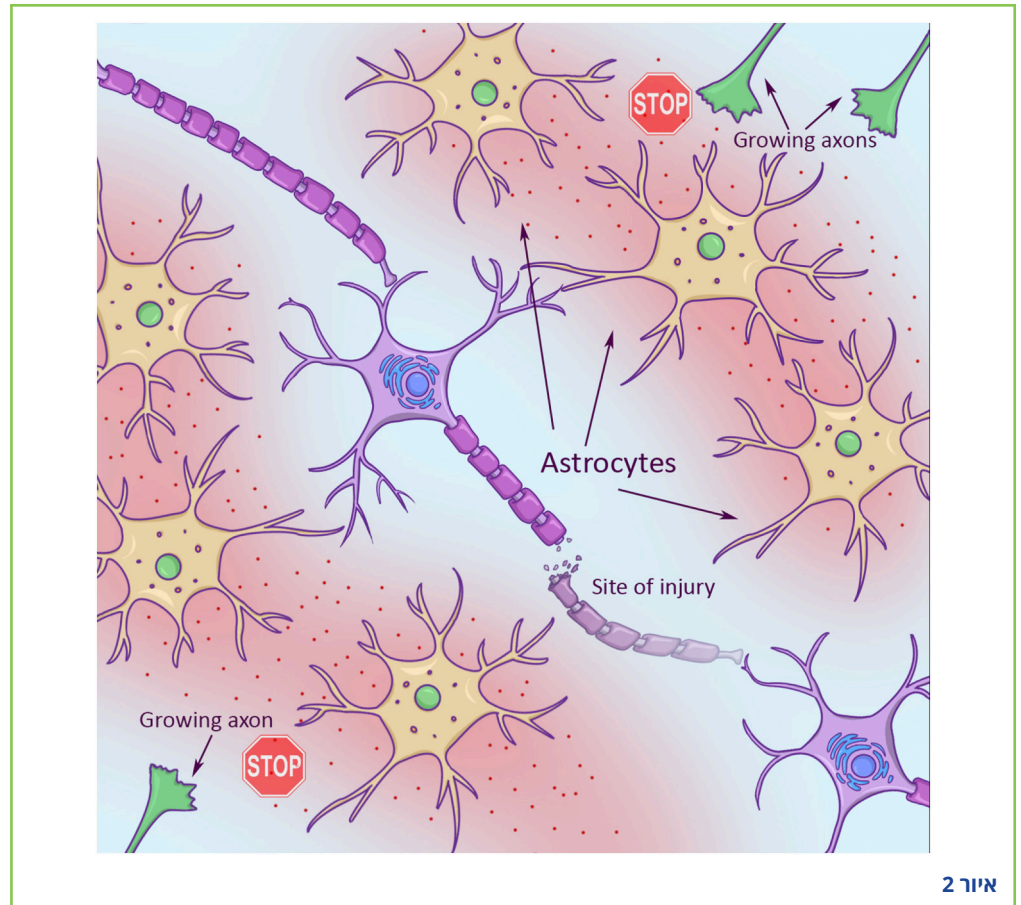
ראשית, הם זקוקים להנעה. ישנן מולקולות מיוחדות העוזרות להפעיל את תהליך גידול הנוירונים. ככל שהנוירונים פעילים יותר כך נוצרת כמות רבה יותר של המולקולות המניעות האלה. היות שכך, אם תקפידו שהמוח שלכם יהיה פעיל יש סיכוי טוב יותר שהנוירונים שלכם יגדלו. הדבר נכון הן לאחר פציעה הן במוח בריא.

שנית, בפני האקסונים ניצבת סביבה עוינת, עשירה ב"תמרורי עצור" מולקולריים המאותתים לאקסונים: "אין להסיג גבול". אחדים מתמרורי עצור אלה הם חלק מהקרום (העטיפה) שסביב אקסונים שכנים, הנקרא **קרום המיאלין** (איור 1, שמאל). תמרורי עצור אחרים הם חלק מצלקת שנבנית כחומת מגן סביב אזור הפציעה, במאמץ למנוע את התפשטות הנזק. צלקות אלה מיוצרות על-ידי תאי מוח הנקראים **אסטרוציטים** (תאי כוכב, עקב צורתם דמוית הכוכב). האסטרוציטים בוני הצלקת רק מנסים לעזור, אבל הם גם משחררים לסביבתם חומר כימי המקשה על האקסונים לגדול (איור 2).

אבל, גם כאן יש חדשות טובות. מדענים עובדים על אסטרטגיות שיעזרו להניע נוירונים פצועים לגדול, על-ידי שימוש במולקולות גידול מיוחדות. הם גם עובדים על סילוק תמרורי העצור של האקסונים כדי שסביבת הפציעה תהיה תומכת יותר לגידול תאי העצב [1].

איור 2

אקסונים גדלים (ירוק, בפינות העליונה מימין והתחתונה משמאל) המחפשים תאי מטרה חדשים להיקשר אליהם מתקשים לעשות זאת בסביבה פצועה. הדבר נובע חלקית מתאי תמיכה דמויי כוכב (אסטרוציטים, בצהוב), המשחררים חומרים כימיים (אדום). חומרים כימיים אלה עוצרים את גידול האקסון. עצור = Stop
 אקסונים = Growing axons
 גדלים = Astrocytes
 אסטרוציטים = Site of injury
 אזור הפציעה =



איור 2

תגובת החיסון במוח שונה מזו שבועור

לתגובת החיסון תפקיד חיוני בכל סוג של תיקון אחרי פציעה. בעור פצוע, תאי חיסון יאוצו מהדם אל אזור הפציעה, ויעזרו לתאי החיסון המקומיים לנקות שאריות של תאים מתים. ברנע שתהליך הניקוי מסתיים תאי החיסון מתים ומפסיקים להילחם. גם במוח יש תאי חיסון מקומיים, והם יופעלו כאשר יחושו סכנה או נזק. בעיה נפוצה במוח היא שלעיתים קרובות תאי החיסון המופעלים אינם יודעים מתי להפסיק להילחם. אם הם ממשיכים לשחרר חומרים כימיים רעילים למשך תקופות זמן ארוכות, הם עלולים לגרום ליותר נזק מאשר תועלת בגלל הַגָּג של נוירונים בריאים. לכן, מדענים מנסים להבין מה מפעיל את תאי החיסון שבמוח ומה מפסיק את פעולתם, ומנסים לפענח איך הם יכולים לשנות את התגובה של תאי חיסון אלה כדי שיועילו ולא יגרמו נזק [2].

אם כן, כיצד המוח מתקן את עצמו?

בהבנת מגבלות הנוירונים לעומת תאי העור, אתם עלולים להתאכזב מכך שנראה כי איבר חשוב כל כך כמו המוח אינו ערוך לאירועים מזיקים. האמת היא שלמערכת העצבים המרכזית יש אסטרטגיה מתוחכמת לתקן את עצמה, שונה לגמרי מהאסטרטגיה שבה משתמשים שאר האיברים. המוח אף פעם לא יחזור להיות כפי שהיה לפני הנזק, אבל הוא ינסה לפצות על ההפסדים שלו. נוירונים במוח מסוגלים לשנות את הקשרים שלהם אלו עם אלו. תהליך זה

אסטרוציטים (Astrocytes)

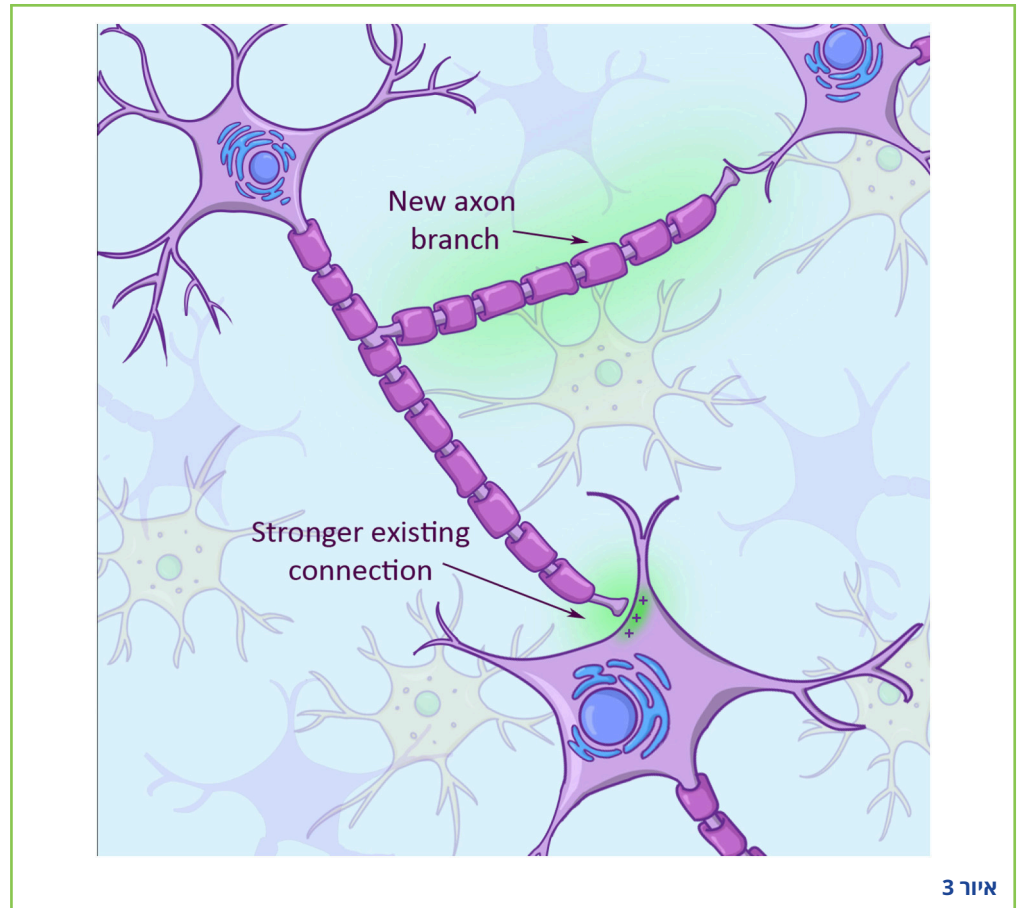
מתורגמים ל"תאי כוכב", עֵקֶב צורתם דמוית הכוכב של תאים אלה. אסטרוציטים הם תאי עֵזֶר במוח, והם שונים לגמרי מהנוירונים. הם עוזרים לנוירונים בדרכים רבות כגון הרחקת מולקולות מזיקות.

תגובת חיסון (Immune response)

תגובת הגוף לפציעה. תגובת חיסון תשלח תאים מתמחים, חלקם מאזור הפציעה וחלקם מזרם הדם, כדי לעזור לנקות ולתקן.

איור 3

בתגובה לפציעה, תא מוח יכול להתאים את עצמו על-ידי גידול זרועות חדשות (הסתעפות אקסון על רקע ירוק), וגם על-ידי הגברה של עוצמת הקשרים הקיימים או הפחתתה (קשר בין אקסון לתא מקבל על רקע ירוק בתחתית מימין).
 = New axon branch
 = Stronger existing connection
 = חיזוק קשר קיים



איור 3

פלסטיות (Plasticity)

היכולת של תאי עצב לשנות את הקשרים שלהם עם תאי עצב אחרים. פלסטיות היא התהליך שבו נוירונים בונים זרועות חדשות כדי להיקשר לנוירונים אחרים, או פשוט להחלישה של קשר קיים עם תא עצב אחר, או חיזוקו.

נקרא **פלסטיות**, והוא מסייע למוח להתאים את עצמו למצב של אובדן נוירונים. תשכחו לרגע מתאים מתים, האחריות לפלסטיות היא לחלוטין על התאים ששרדו. איך זה פועל?

היות שתפקידו הראשוני של הנירון הוא לשלוח אותות, נוירונים טובים במיוחד בְּחִישָׁת "נכסי דָּלָא נִידִי פנויים" (נוירונים אחרים), שאליהם הם יכולים להיקשר. מלבד גידול זרועות חדשות כדי להיקשר לתאים חדשים, נוירונים יכולים גם לשנות את עוצמת הקשרים הקיימים עם נוירונים אחרים (איור 3). הם יכולים הן לחזק את הקשרים האלה הן להחלישם, והתוצאה היא רשת קשרים במוח חדשה לחלוטין. פלסטיות זו נובעת מפעילויות שאנו מְבַצְעִים, ומְכַוֶּנֶת על ידיהן. אחרי שבץ מוחי או פציעת מוח חולים בדרך כלל משתפרים עד לרמה מסוימת, הודות לביצוע סוגים שונים של פיזיותרפיה. השיפור אינו נובע כל כך מגידול של תאים חדשים, כפי שלמדתם למעלה, אלא בגלל שחולים אלה ממשיכים לגרות את הפלסטיות, וכך לְבַנֹּת קשרים חדשים בין הנוירונים ששרדו במוח שלהם!

לרוע המזל, הפלסטיות כמנגנון תיקון מוגבלת. היא תלויה לחלוטין בתאים ששורדים, כך שכל ששורדים תאים רבים יותר, המצב עדיף. אם מישוהו סובל מנוק מוחי חמור או משבץ מוחי ענקי שהורג כמות משמעותית של תאי מוח, יש פחות נוירונים שורדים שזמינים לפלסטיות, לעומת מה שקורה בזעזוע מוח קל. ככל שאפשר לעבוד עם יותר תאים שזמינים לפלסטיות, כך תופעת הפלסטיות תתרחש יותר. לכן, פציעות חמורות במערכת העצבים המרכזית מסתיימות בדרך כלל בנכויות מתמשכות. היות שהתוצאה של פציעות חמורות אלה היא נוראית כל כך, מדענים

עובדים קשה בניסיון להגן על הניורונים מתמותה, להחליף תאים אבודים בתאי גזע, לעזור לניורונים פצועים לגדול ולהמריץ את תהליך הפלסטיות.

מקורות

1. Silver, J., Schwab, M. E., and Popovich, P. G. 2015. Central nervous system regenerative failure: role of oligodendrocytes, astrocytes, and microglia. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.* 7(3):a020602. doi: 10.1101/cshperspect.a020602
2. Loane, D. J., and Kumar, A. 2015. Microglia in the TBI brain: the good, the bad, and the dysregulated. *Exp. Neurol.* 275(Pt 3):316-27. doi: 10.1016/j.expneurol.2015.08.018

פורסם אונליין: 25 בינואר 2019

נערך על ידי: Lesley K. Fellows, McGill University, Canada

ציטוט: Weishaupt N and Zhang A (2019) מדוע המוח אינו מחלים כמו העור שלכם? Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2016.00022-he

תורגם והותאם:

Weishaupt N and Zhang A (2016) Why Doesn't Your Brain Heal Like Your Skin? Front. Young Minds 4:22. doi: 10.3389/frym.2016.00022

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

COPYRIGHT © Weishaupt and Zhang 2016. 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

13-12, TRAFALGAR SCHOOL FOR GIRLS, גיל:

17 בנות צעירות מכיתה ז' השתתפו בהכנת סקירה זו. חלק מהן ספורטאיות, ואחת מהן סבלה בעבר מזעזוע מוח. לחלק מהבנות בני משפחה או חברים הסובלים ממחלות נפש. קבוצה זו התלהבה מאוד מתהליך הסקירה, וכל חברות הכיתה השתתפו ונתנו משובים בעלי ערך. יש לציין במיוחד את המורה שלהן למדעים, Christianne Loupelle, על כך שדגגנה מאוד את הבנות והתחשבה בהן במהלך תהליך הסקירה.



הכותבות

NINA WEISHAUPT

אני מדענית בתחום מדעי המוח, ומתמחה בחקר פציעות של חוט השדרה, שבץ מוחי ומחלת האלצהיימר. אני מתעניינת בקידום ההבנה שלנו לגבי הפלסטיות של מערכת העצבים המרכזית, דלקות ושומני קרום התא כיעד לטיפולים חדשים. *nweishau@uwo.ca

ANGELA ZHANG

כיום אני תלמידת תואר שני באוניברסיטת McGill. בעבר, למדתי כיצד אזורים מרוחקים במוח מושפעים משבץ מוחי שאירע באזורי מוח אחרים. כיום אני מתעניינת בחקר פציעות מוח טראומטיות (זעזוע מוח), ובאופן שבו המערכת הוויזואלית של המוח מחלימה אחר כך. מלבד מחקר אני אוהבת לטייל, לנגן בפסנתר, לצייר ולעשות סקי.



Hebrew version
provided by

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

