



מהי פציעה בחוט השדרה?

Madeleine O'Higgins¹, Anna Badner^{1,2}, Michael G. Fehlings^{1,2,3*}

¹מכון המחקר Krembil, בית החולים המערבי של טורונטו, רשת בריאות אוניברסיטאית, טורונטו, אונטריו, קנדה
²הפקולטה לרפואה, המכון למחקר רפואי, אוניברסיטת טורונטו, טורונטו, אונטריו, קנדה
³המחלקה לניתוחים נוירולוגיים, אוניברסיטת טורונטו, טורונטו, אונטריו, קנדה

חוט השדרה הוא נתיב למסרים מאזורים אחרים של הגוף אל המוח, וממנו אליהם. יש במוח תאי עצב (הנקראים נוירונים) אשר נחלקים לחומר האפור ולחומר הלבן, המכיל מעטפת שומנית לבנה שנקראת מיאלין. חוט השדרה מוגן על-ידי עמוד השדרה הגרמי. כאשר חוט השדרה נפצע, הפציעה מתרחשת בשני שלבים: הראשון הוא הפציעה למעשה, בזמן שחוט השדרה נחבל או נקרע; הפציעה השנייה היא כוללת כמה תגובות שונות המתרחשות בגוף בגלל החבלה והקריעה. פציעות בחוט השדרה גורמות לאובדן תחושה או לאובדן יכולת האדם להשתמש בידיו וברגליו. לכן, מדענים פועלים למציאת דרכים שונות להפסקת הפציעה השנייה או להפחתתה, כדי לעזור לבני אדם הסובלים מפציעות בחוט השדרה להחלים טוב יותר.

מהו חוט השדרה וכיצד הוא פועל?

חוט השדרה חשוב מאוד. זהו הנתיב העיקרי להעברת מסרים בין המוח ובין שאר חלקי הגוף. באמצעות תקשורת זו אנו מסוגלים לחוש דברים כגון כאב, ולשלוח על תנועות הידיים והרגליים שלנו. מסרים אלה (המועברים מהמוח ואליו) נשלחים על-ידי תאי עצב מתמחים, הנקראים **נוירונים** (איור 1). לחלק מהנוירונים יש מעטפת שומנית לבנה הנקראת **מעטפת המיאלין**, אשר מסייעת למסרים – כגון כאב בגלל מישוהו שדורך לכם על הבהון – להגיע למוח מהר

סוקרת צעירה

NOA
גיל: 10



נוירונים תאי עצב, (Neurons)

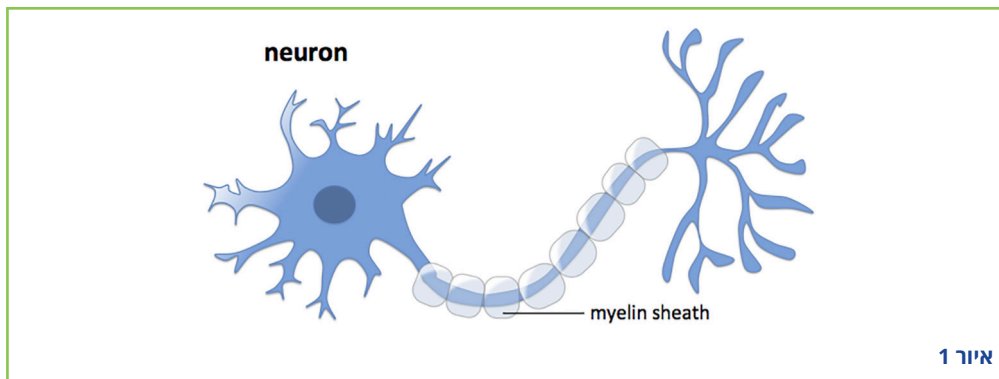
התאים המתמחים של מערכת העצבים המרכזית.

מעטפת מיאלין (Myelin sheath)

המעטפת השומנית הלבנה אשר מקיפה חלק מהנוירונים, ועוזרת למסרים לעבור בין הנוירונים.

איור 1

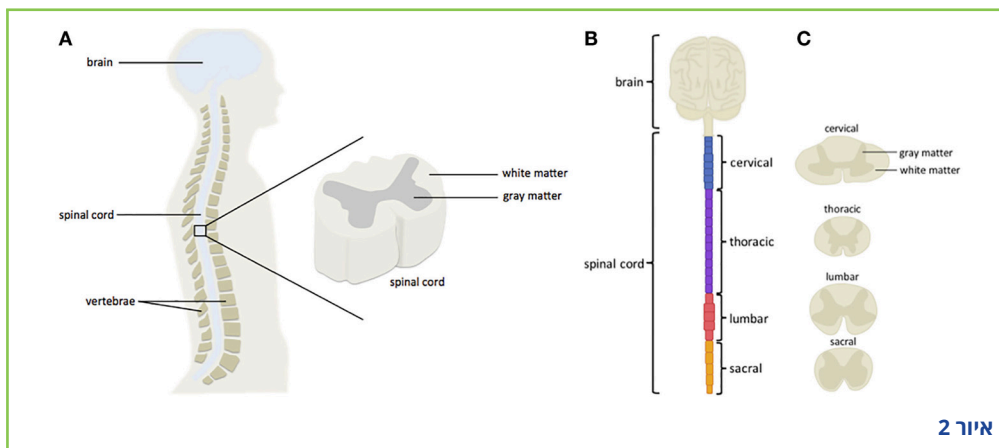
מבנה של נירון, אחד התאים המתמחים שבמוח ובחוט השדרה. לחלק מהניורונים יש מעטפת שומנית לבנה הנקראת מעטפת המיאלין, אשר מסייעת למסרים להגיע למוח מהר יותר.
 Neuron = נירון (תא עצב)
 Myelin sheath = מעטפת המיאלין



איור 1

איור 2

עמוד השדרה, הבנוי מעצמות נפרדות שנקראות חוליות, מגן על חוט השדרה הרך והרגיש. בתוך חוט השדרה, תאים מכילי מיאלין נמצאים בחומר הלבן, ואלה שאין להם מיאלין נמצאים בחומר האפור. החומר האפור יוצר צורת H או צורת פרפר בתוך החומר הלבן. חוליות עמוד השדרה מסודרות במקטעים נפרדים, השולטים על אזורי גוף מסוימים. בבני אדם יש 8 חוליות צוואריות, 12 חזיות, 5 מותניות ו-5 עכוזיות. מקטעי חוט השדרה שונים גם בגודלם, ויש בהם כמות שונה של חומר אפור ולבן.



איור 2

יותר. רוב הניורונים העטופים מיאלין נמצאים באזור חוט השדרה שנקרא **החומר הלבן**, והם מוקפים בתאים שאינם מכילים מיאלין, הממוקמים באזור שנקרא **החומר האפור**.

אם תביטו בחתיכה של חוט השדרה שנחתכה (בחתך רוחב, כלומר חיתוך דרך חוט השדרה, כפי שאולי תחטכו גזר או נקניקיה כדי להראות את החלק הפנימי), החומר האפור ייצר צורת H או צורת פרפר בתוך החומר הלבן (איור 2A). החומר האפור מכיל גם את רוב כלי הדם של חוט השדרה, המספקים חומרי הזנה וחמצן לניורונים. דבר חשוב נוסף הוא עמוד השדרה הגרמי, אשר מגן על כל התאים והמבנים של חוט השדרה. עמוד שדרה זה, הבנוי מעצמות קטנות יותר שנקראות **חליות**, מגן על חוט השדרה מפני חבטות ומהלומות. החוליות מסודרות ברמות (הצווארית, החזית, המותנית והעכוזית), בהתבסס על מיקומן יחסית לראש ולעצם הזנב (איור 2B). כל אחת מרמות חוט השדרה שולטת על התנועה ועל התחושה של אזור מסוים בגוף. הרמה הצווארית, הקרובה ביותר לראש, שולטת על החלק העליון של הגוף, בעוד שמקטעי החזה והמתן אחראים לחלק התחתון יותר של הגוף. כתוצאה מהבדלים תפקודיים אלה מקטעי חוט השדרה שונים בגודלם, ויש בהם כמות שונה של חומר אפור ולבן (איור 2C).

כמו כל חלק אחר בגופנו, חוט השדרה עלול להיפצע. יש בני אדם הנפגעים בחוט השדרה שלהם כאשר הם קופצים לתוך בריכה רדודה מדי כדי לצלול, או אפילו בתאונות דרכים. כאשר חוט השדרה ניזוק, המסרים מהמוח אינם מועברים לשאר הגוף. לכן, אחרי פציעה בעמוד השדרה, ייתכן שהמוח כבר לא יהיה מסוגל לשלוח מסרים לרגליים, והאדם הפגוע עלול לאבד את יכולתו ללכת. פציעה חמורה יותר, המתרחשת באזור הקרוב יותר לצוואר (ברמה הצווארית),

חומר לבן (White matter)

אזור במערכת העצבים המרכזית אשר מורכב מניורונים העטופים במעטפת מיאלין.

חומר אפור (Gray matter)

אזור במערכת העצבים המרכזית המורכב מניורונים שאינם עטופים במיאלין, ומגופי התאים (החלק המרכזי של התאים).

חוליות (Vertebrae)

העצמות הקטנות הבונות את עמוד השדרה.

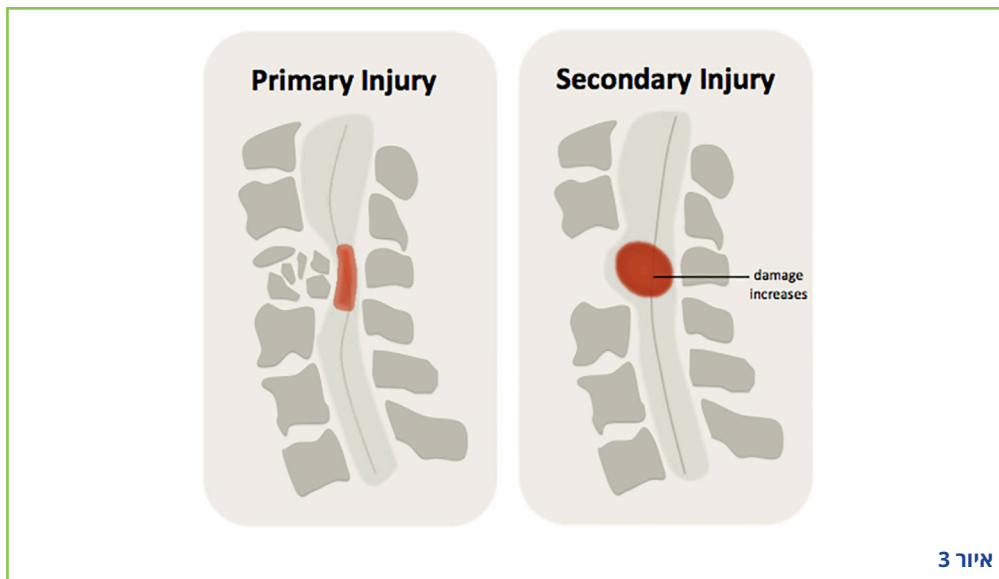
איור 3

לפציעה בחוט השדרה יש שני שלבים. הפציעה הראשונית מתייחסת לנזק הראשוני לחוט השדרה, שבה הוא נקרע ונחבל בגלל הפגיעה. כאשר הגוף מנסה להגיב לתאונה, מתרחשת פציעה שניונית שמגבירה את מידת הנזק בחוט השדרה.

פציעה ראשונית = Primary injury

פציעה שניונית = Secondary injury

נזק = Damage increases מוגבר



איור 3

עלולה לגרום לבעיות חמורות עוד יותר, ויש בני אדם שאינם מסוגלים להזיז את ידיהם. הגרוע מכול – התאים בחוט השדרה רגישים מאוד, ונזק זה לרוב הוא תמידי, כלומר אי אפשר לתקנו.

מעריכים כי רק בארצות הברית יש כ-906 בני אדם מתוך כל מיליון בני אדם, אשר חיים עם פציעה בחוט השדרה. יותר מחצי מהפציעות האלה בחוט השדרה הן ברמה הצווארית, ורוב בני האדם הסובלים מפציעות אלה היו בני 15 עד 30 כאשר התרחשה הפציעה [1]. אולם חשוב לזכור כי מקפריים אלה משתנים עם הזמן. למשל, היות שכיום בני אדם חיים שנים רבות יותר, יש יותר פציעות בחוט השדרה אשר קורות לאנשים מבוגרים יותר, כאשר הם מחליקים או נופלים.

היות שתוצאות הפציעות בחוט השדרה הן חמורות, ולעתים תמידיות, חוקרים רבים עוסקים בניסיון למצוא דרכים לעזור לבני אדם אלה להחלים. אומנם אפשר למנוע תאונות אם נזהר – נחגור חגורות בטיחות בנסיעה ולא נקפוץ לבריכות רדודות – אבל אי אפשר להימנע מכל התאונות. לכן, צריך למצוא דרכים לעזור לבני האדם להחלים.

מה קורה בחוט השדרה במהלך פציעה?

מחקר רב וחשוב על חוט השדרה נעשה על-ידי שני נוירוכירורגים (מנתחי עצבים), ד"ר Charles Tator וד"ר Michael Fehlings [2-4]. הם גילו כי נזק לחוט השדרה נמשך אחרי התאונה הראשונית, שבה תחילה נקרע או נחבל חוט השדרה בגלל הפגיעה (איור 3). כלומר, אפילו אחרי הפציעה מתרחשים שינויים בחוט השדרה שמגבירים את מידת הנזק. יחד, אירועים מושהים אלה נקראים פציעה שניונית. לכן, הפציעה הראשונית היא זו שגרמה נזק לחוט השדרה, והפציעה השניונית היא תגובת הגוף לנזק הזה, אשר גורמת לפגיעה רבה יותר.

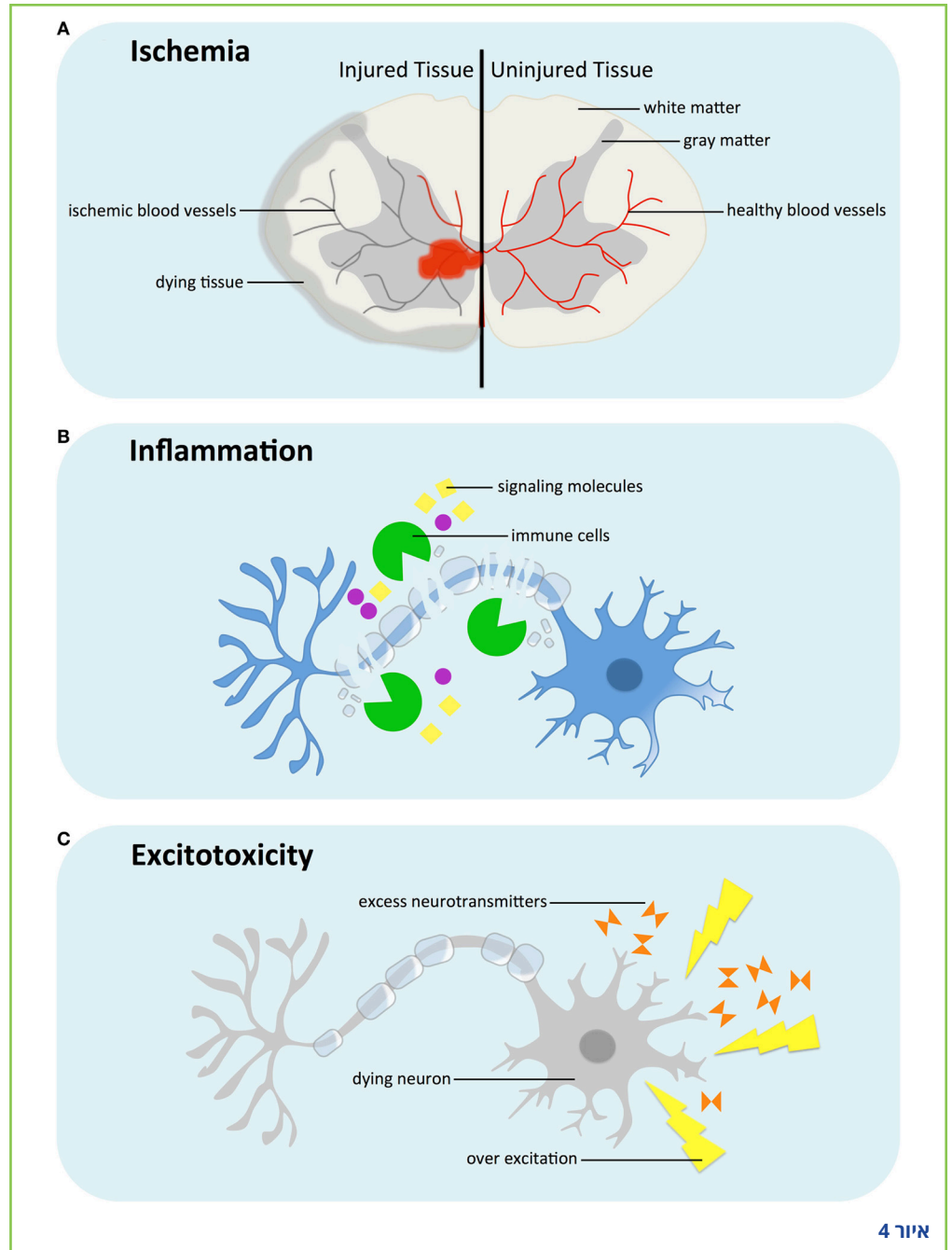
איסכמיה (Ischemia)

פחיתה בזרימת הדם לתאים, הגורמת למחסור בחמצן ובגלוקוז.

זמן קצר לאחר הפציעה הראשונית מתחילה פציעה שניונית, כאשר הדם מפסיק לזרום לתאי חוט השדרה – חוסר זה בזרימת הדם נקרא **איסכמיה**. היות שהרבה כלי דם – הצינורות שבהם זורם הדם – נפגעים בגלל הפציעה, אין יותר זרם דם פעיל להעברת חמצן וחומרי הזנה

איור 4

פציעה שניונית אחרי נזק לחוט השדרה כרוכה באיסכמיה, בדלקת ובאקסיטוטוקסיות. **A.** דם נושא חמצן וחומרי הזנה לתאים של חוט השדרה. איסכמיה היא הפחתה בזרימת הדם, ולכן פחות חמצן מובל, דבר הגורם לתאים בריאים למות. **B.** דלקת היא תגובת החיסון (מערכת ההגנה של הגוף) לפציעה, שבה תאי חיסון מסייעים בניקוי תאים מתים ושרידי תאים. לרוע המזל, תאי החיסון פועלים למשך זמן ארוך מהנחוץ, דבר הגורם נזק לניורונים בריאים. תאי החיסון גם משחררים מולקולות איתנות מיוחדות שגורמות אפילו ליותר תאי חיסון להגיע לאזור הפציעה, דבר המקשה על הגוף לרפא את עצמו. **C.** אקסיטוטוקסיות היא נזק מיוחד לניורונים, הנובע משיבוש בשחרור הניורטרנסמיטורים. בנוכחות עודף ניורטרנסמיטורים הניורונים מופעלים יותר מדי (מעוררים מדי), והם ניזוקים.



איור 4

לניורונים שצריכים לשרוד. ללא זאת, התאים שלא הושפעו מהפציעה הראשונית, שהם עדיין בריאים, עלולים למות אף הם. איסכמיה עלולה גם לגרום לניורונים ששרדו לאבד את מעטפת המיאלין שלהם (המעטפת השומנית), דבר שיקשה עליהם את העברת המסרים למוח.

במהלך הפציעה השניונית, תאי החיסון (תאים של מערכת החיסון), המסייעים בניקוי תאים מתים, עלולים אף הם לגרום נזק רב יותר לחוט השדרה. בעוד ניקוי זה חשוב להחלמה אחרי פציעה בחוט השדרה, תאי החיסון פועלים למשך זמן ארוך מהנחוץ, וגורמים נזק רב יותר על-ידי הריגת ניורונים בריאים. תאי החיסון גם מפרישים חומרים כימיים, כולל מולקולות מתמחות השולחות אותות ברחבי הגוף, דבר המביא אפילו יותר תאי חיסון לאזור הפצוע, ובכך

תאי החיסון מקשים יותר על הגוף לרפא את עצמו. פעילות תאי החיסון ושחרור המולקולות המאותות שלהם יחד נקראים דלקת.

מקור נזק נוסף במהלך הפגיעה השניונית נובע מהיחלשות התקשורת בין הניורונים. ניורונים מתקשרים זה עם זה על-ידי שחרור חומרים כימיים מיוחדים, הנקראים **ניורונסמיטורים**. לאחר פגיעה בחוט השדרה שחרור הניורונסמיטורים משתבש, ויש שחרור רב מדי של חומרים כימיים אלה. היות שניורונסמיטורים מפעילים ניורונים, הניורונים נהיים פעילים מדי (מעוררים מדי), והם ניזוקים. סוג זה של נזק לניורונים נקרא **אקסיטוטוקסיות**.

לסיכום, נזק ראשוני לעמוד השדרה נהיה חמור יותר בגלל הנזק השניוני, הכולל איסכמיה (איור 4A). דלקת (איור 4B) ואקסיטוטוקסיות (איור 4C).

איך כל זה עשוי לעזור לנו לטפל בחוטי שדרה פצועים?

הבשורות הטובות הן שככל שחוקרים יבינו יותר על פגיעות של חוט השדרה, יגדלו סיכוייהם למצוא טיפולים שישפרו את ההחלמה. אחת הדרכים שבה מנתחים מנסים להפחית את הנזק השניוני היא באמצעות ניתוח בשלב מוקדם. על-ידי הסרת הלחץ מחוט השדרה מהר ככל האפשר, הם יכולים למנוע חלק מהנזק לרקמות המתרחש במהלך הפגיעה השניונית. מדענים גם חוקרים תרופות שעשויות לסייע בהפסקת חלק מההשפעות המזיקות של הפגיעה השניונית. אבל, אפשר להשתמש בטיפול זה, הנקרא **הגנה עצבית** [5, 6], רק במסגרת זמן קצרה לאחר הפגיעה הראשונית. אחרי תקופות זמן ארוכות, כאשר כבר חלה תמותת ניורונים, נחוצות אסטרטגיות טיפול שונות. יש חוקרים הבודקים אפשרות של החלפת ניורונים אבודים בעזרת **השתלת תאי גזע עצביים** (תאי גזע הם סוג של תאים בגוף שמסוגלים להתפתח לסוגי תאים שונים. תאי גזע עצביים הם תאי גזע המסוגלים להתפתח לסוגים שונים של תאים הנמצאים במערכת העצבים המרכזית) [4, 7], אף שנדרש מחקר רב יותר כדי שהשיטה תוכל להיות מיושמת בבטחה בחולים. סך הכול, ככל שיותר מדענים ורופאים יבינו על פגיעות של חוט השדרה, כך יהיו דרכים רבות יותר לעזור לחולים להחלים.

מקורות

1. Singh, A., Tetreault, L., Kalsi-Ryan, S., Nouri, A., and Fehlings, M. G. 2014. Global prevalence and incidence of traumatic spinal cord injury. *Clin. Epidemiol.* 6:309–31. doi: 10.2147/CLEP.S68889
2. Tator, C. H., and Fehlings, M. G. 1991. Review of the secondary injury theory of acute spinal cord trauma with emphasis on vascular mechanisms. *J. Neurosurg.* 75(1):15–26. doi: 10.3171/jns.1991.75.1.0015
3. Wilson, J. R., Forgiione, N., and Fehlings, M. G. 2013. Emerging therapies for acute traumatic spinal cord injury. *CMAJ* 185(6):485–92. doi: 10.1503/cmaj.121206
4. Ahuja, C. S., and Fehlings, M. 2016. Concise review: bridging the gap: novel neuroregenerative and neuroprotective strategies in spinal cord injury. *Stem Cells Transl. Med.* 5(7):914–24. doi: 10.5966/sctm.2015-0381

ניורונסמיטורים (Neurotransmitters)

חומרים כימיים מיוחדים המסייעים לניורונים לתקשר. אלה הם השליחים של מערכת העצבים.

אקסיטוטוקסיות (Excitotoxicity)

מצב שבו ניורונים ניזוקים כאשר משוחרר עודף של ניורונסמיטורים.

הגנה עצבית ניורופרוטקטיביות, (Neuroprotection)

תהליך הגנה על רקמות תאי עצב מנזק שניוני.

תאי גזע עצביים (Neural stem cells)

תאים שמסוגלים לגדל עצמם מחדש ולהתפתח לתאים של מערכת העצבים (כגון ניורונים ותאי גליה).

5. Chen, S., and Levi, A. D. 2017. Restorative treatments for spinal cord injury. *Neurosurg. Clin. N. Am.* 28(1):63–71. doi: 10.1016/j.nec.2016.08.004
6. Hilton, B. J., Moulson, A. J., and Tetzlaff, W. 2016. Neuroprotection and secondary damage following spinal cord injury: concepts and methods. *Neurosci. Lett.* doi: 10.1016/j.neulet.2016.12.004
7. Iyer, N. R., Wilems, T. S., and Sakiyama-Elbert, S. E. 2017. Stem cells for spinal cord injury: strategies to inform differentiation and transplantation. *Biotechnol. Bioeng.* 114(2):245–59. doi: 10.1002/bit.26074

פורסם אונליין: 08 בפברואר 2019

נערך על ידי: Rich Ivry, University of California, Berkeley, USA

ציטוט: O'Higgins M, Badner A and Fehlings MG (2019) מהי פציעה בחוט השדרה? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2017.00017-he

תורגם והותאם:

O'Higgins M, Badner A and Fehlings MG (2017) What Is Spinal Cord Injury? *Front. Young Minds* 5:17. doi: 10.3389/frym.2017.00017

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

COPYRIGHT © O'Higgins, Badner and Fehlings 2017. 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.

סוקרת צעירה

NOA, גיל: 10

אני אוהבת ספורט. ענף הספורט האהוב עליי הוא שחייה, אבל אני גם משחקת לקרוס, ורצתי שְׁבָעָה סבבים של חמישה קילומטרים. אני גם נהנית לטייל עם משפחתי.

הכותבים

MADELEINE O'HIGGINS

מתמחה במחקר תקשורת עבור קבוצת Fehlings, וממש נהנית לכתוב ולשכתב מדע ומחקר עבור קהלים שונים. היא למדה פסיכולוגיה, וסיימה תואר דוקטורט וחברת פוסט דוקטורנטית בתחום, טרם הגיעה לעבוד בקבוצת המחקר של Fehlings.





ANNA BADNER

סטודנטית לתואר דוקטור במכון למדע הרפואה באוניברסיטת טורונטו, בהנחייתו של ד"ר Michael G. Fehlings. היא חוקרת פציעות טראומטיות של חוט השדרה וטיפולו תאי גזע פוטנציאליים להגנה עצבית. מחוץ למעבדה היא נהנית לטייל ברגל, לעשות סקי ולצלם.

MICHAEL G. FEHLINGS

מומחה בנוירוכירורגיה באוניברסיטת טורונטו. כראש תכנית חוט השדרה בבית החולים Toronto Western, הוא מְשַׁלֵּב בין פגישות עם חולים וביצוע ניתוחים בחוט השדרה ובין פיקוח על תוכנית מחקר המתמקדת בגילוי טיפולים חדשים למוח ולחוט השדרה הפצועים. הוא פרסם יותר מ-700 מאמרים, והוא מְכַר ברמה בינלאומית כמומחה מוביל החוקר תיקון והתחדשות של מערכת העצבים המרכזית במקרים של פציעות מוח וחוט השדרה. *michael.fehlings@uhn.ca

Hebrew version
provided by

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

