

כשאנו מזדקנים, ה"מגן" שמגן על המוח דולף

Jessica M. Lin^{1,2}, Vladimir V. Senatorov Jr.^{1,2}, Daniela Kaufer^{1,2,3*}

¹מכון הלין למדעי המוח, אוניברסיטת קליפורניה, ברקלי, ברקלי, קליפורניה, ארצות הברית
²המחלקה לביוולוגיה אינטגרטיבית, אוניברסיטת קליפורניה, ברקלי, ברקלי, קליפורניה, ארצות הברית
³המכון הקנדי למחקר מתקדם, טורונטו, אונטריו, קנדה

ייתכן ששמתם לב שכאשר אנשים מתבגרים, הם סובלים לעיתים קרובות יותר מאובדן זיכרון, והם עשויים ללמוד דברים לאט יותר מכך. מה גורם לשינויים האלה בתפקוד המוח שלנו? המחקר שלנו מצא שכאשר אנו מזדקנים, המְמָבְרָנָה שמגינה על המוח שלנו, שנקראת מחסום דם-מוח (BBB), נעשית "דולפת", מה שמאפשר לחלבונים בלתי רצויים ממחזור הדם להיכנס למוח. במאמר הזה נסביר כיצד מחסום דם-מוח דולף יכול להוביל לנזק בתפקוד המוח. יתרה מזו, נדון באפשרות של מציאת תרופה שתמנע את הדליפה הזו.

מהו מחסום דם-מוח ומה קורא כשהמגן הזה מתפרק?

המוחות שלנו מוגנים על ידי מגן שידוע כ**מחסום דם-מוח**. הוא קיבל את השם שלו מכך שבמוחות בריאים מרכיבי דם מסוימים מופרדים מרקמת המוח על ידי מחסום שמורכב מהרבה תאים וגורמים אחרים, אשר יוצר חלוקה בין מחזור הדם לבין המוח. אנו קוראים למחסום הזה חצי חדיר, כלומר שרק מולקולות מסוימות שחשובות לתפקוד המוח יכולות לעבור דרכו. כאשר אנו מתבגרים, המחסום הזה נעשה "דולף", ומאפשר את כניסתן של מולקולות אסורות.

סוקרים צעירים

UC IRVINE
BRAIN
EXPLORER
ACADEMY



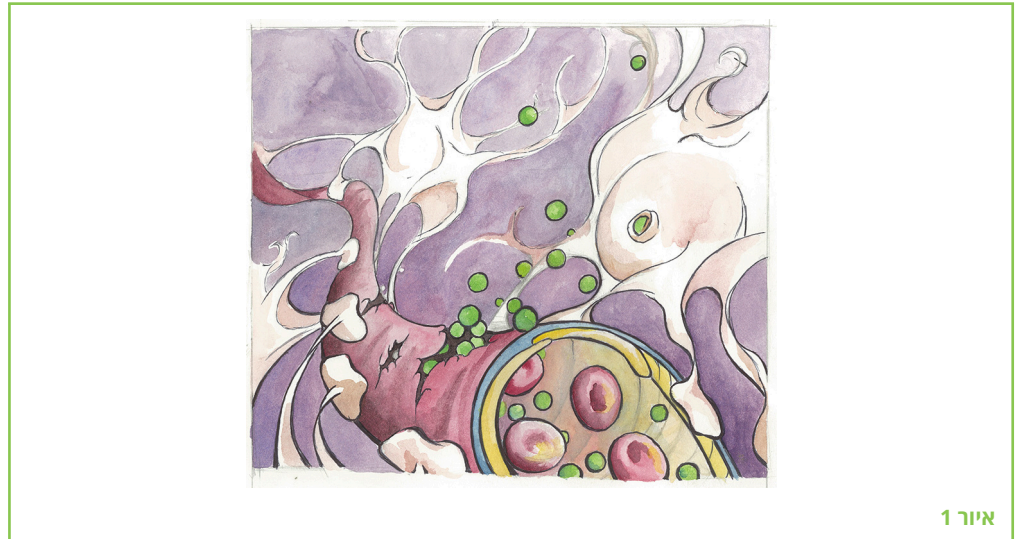
גיל: 7-14

מחסום דם-מוח (BBB - Blood-brain Barrier)

ממברנה ששולטת במולקולות שיכולות לחצות ממחזור הדם אל המוח.

איור 1

המחשה של מחסום דם-מוח במוח מזדקן. כאן, מולקולות אלבומין (בירוק) דולפות מכלי דם שבור ונקשרות לקולטן β -TGF שנמצא על אסטרוציטים (בלבן). שימו לב שהאסטרוציטים עוטפים את “זרועותיהם” סביב לכלי הדם כדי לסייע לוויסות ולשמירה של מחסום הדם-מוח. אומנית: קרלי האוגן.



איור 1

היפוקמפוס (Hippocampus)

אזור במוח שחשוב עבור למידה וזיכרון. המשמעות של היפוקמפוס ביוונית היא “פרסת סוס”, והיא מתייחסת לצורתו המעוקמת.

אלבומין (Albumin)

חלבון בדם שבאופן תקין לא נמצא במוח של אנשים בריאים.

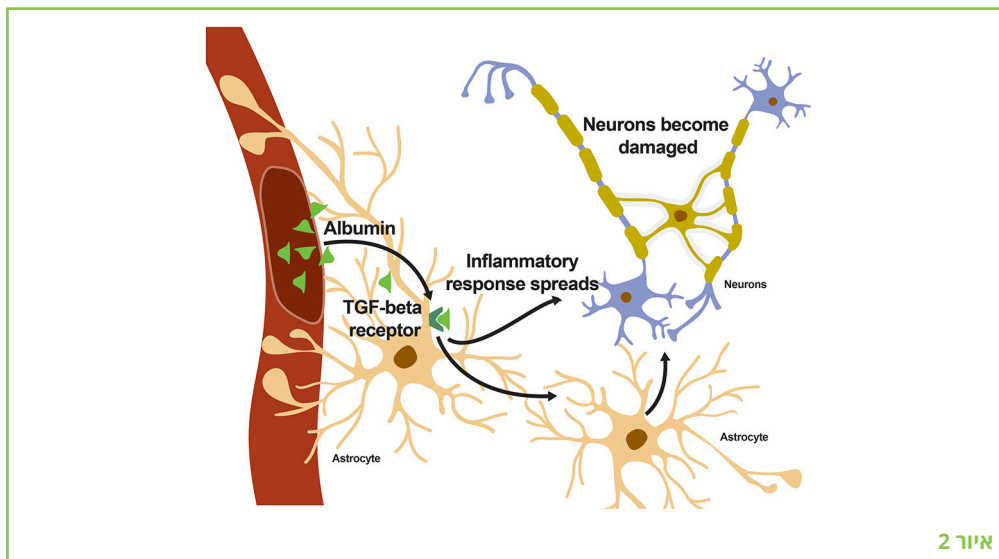
כאשר אנו צעירים, מחסום הדם-מוח שלנו שלם. בסביבות אמצע החיים, אנו נוטים לראות ראיית ראשונות לשחיקה. אצל אחוז קטן מהאנשים מתחילים להופיע חלבוני דם באזור במוח שנקרא **היפוקמפוס** [1]. היפוקמפוס משמעותו “פרסת סוס” ביוונית, מה שמייצג את צורתו המעוקמת של האזור הזה במוח. ההיפוקמפוס הוא אחד האזורים החשובים והסתגלתיים ביותר במוח. כשאתם חווים משהו חדש, ההיפוקמפוס שלכם מגיב על ידי יצירת קשרים חדשים בין תאים במוח שנקראים נוירונים, ולעיתים גם הסרה של קשרים ישנים. היצירה וההסרה האלה של קשרים נקראת פלסטיות, ודרך הפלסטיות הזו ההיפוקמפוס ממלא תפקיד חשוב בלימוד וזיכרון. אולם חוקרים חושבים שהפלסטיות הזו גם גורמת להיפוקמפוס להיות פגיע במיוחד ביחס להזדקנות [2], מה שמסוכן מאחר שנוזק להיפוקמפוס יכול להפחית את יכולתנו ללמוד דברים חדשים או להיזכר בדברים שלמדנו קודם לכן.

בסביבות גיל 65 פחות או יותר, אצל אנשים רבים מופיעה כמות מסוימת של חלבוני דם במוח, מה שמגדיל את הסיכון של מחלות שמשפיעות על המוח [1]. נוכחותם של חלבוני דם במוח מתרחשת אצל אנשים רבים אולם אינה מובנת לגמרי, ולכן אנו רוצים לחקור כיצד ומדוע זה קורה (איור 1). אין כל כך הרבה מחקר קיים על האופן שבו מחסום דם-מוח מתפרק בגיל מבוגר. לכן, חיפשנו השראה ממערכת אחרת שנחקרה לעומק: פגיעה מוחית טראומטית (TBI). פגיעה מוחית טראומטית מתרחשת כאשר נגרמת טראומה פיזית לראש, המזיקה לגולגולת ולמוח. חשבנו שאולי להזדקנות טבעית יש השפעה דומה על מחסום דם-מוח כמו בפגיעה מוחית טראומטית, פרט לכך שהנוזק הנגרם על ידי הזדקנות מתרחש לאט יותר, במשך הרבה שנים, במקום ב”מכה אחת”. TBI והזדקנות עשויות להיראות שונות מאוד, אולם הן יותר דומות ממה שאתם חושבים. במקרה של TBI, קל להסיק שמחסום דם-מוח סובל מנוזק פיזי, בדומה לאופן שבו קסדת אופניים נעשית מעוקמת כשאתם נופלים ומקבלים חבטה בראשכם. אולם בנוזק במחסום דם-מוח ב-TBI מתרחשת גם נפיחות סביב לאתר הפגיעה, מתגובות גופניות אחרות שמופעלות על ידי הפגיעה [3]. ברגע ש-TBI מזיקה למחסום דם-מוח, חלבון בדם שנקרא **אלבומין** ובדרך כלל אינו נמצא במוח, מתחיל לדלוף פנימה.

מדוע זה רע אם אלבומין נכנס למוח? טוב, אלבומין יכול לגרום לתאים מסוימים במוח לקבל אותות נוספים דרך מולקולה שנמצאת על פני השטח שלהם שנקראת קולטן β -TGF. אנו

איור 2

כאשר אלבומין נכנס למוח ונקשר לקולטן TGF-β על אסטרוציטים, מתפשטת תגובה דלקתית ברחבי המוח, שבסופו של דבר מגיעה לניורונים. ניורונים יכולים להיזקק אם התגובה הדלקתית נמשכת זמן רב מדי.



איור 2

חושבים שהאיתות הנוסף הזה שנגרם על ידי אלבומין מתרחש גם אחרי TBI וגם במהלך הזדקנות [4]. בסביבות 40-10% מהמטופלים שסבלו מ-TBI פיתחו אפילפסיה בשלב מאוחר יותר בחיים [5], ומחלות כמו **דמנציה** (שיטיון) או אפילפסיה משפיעות על מבוגרים הרבה יותר מאשר על צעירים, מה שגורם לנו לחשוב שאיתות דרך קולטן TGF-β גם ממלא תפקיד בהפרעות במחסום דם-מוח שקשורות לגיל.

אם כן, כיצד בדיוק פועל האיתות הזה דרך קולטן TGF-β? אנו התעניינו בסוג מסוים של תא במוח שנקרא **אסטרוציט**, שמכיל הרבה קולטני TGF-β. הודות לצורתם הייחודית דמויית הכוכב ("אסטרום" משמעותו כוכב בלטינית), אסטרוציטים מסוגלים למתוח וללפף את ה"זרועות" שלהם סביב לכלי דם, מה שגורם לתאים האלה להיות מרכיב חשוב במחסום דם-מוח (איור 1). בין התפקידים השונים שלהם, אסטרוציטים מווסתים זרימת דם לניורונים ומסייעים בבחירת המולקולות שיכולות לחצות מהדם אל המוח [6]. הם גם ממלאים תפקיד חשוב בתגובה לפגיעה שנובעת מנזק למחסום דם-מוח. כאשר קולטן TGF-β על אסטרוציט מופעל, האסטרוציט משחרר אות כימי שגורם לדלקת באזור שסביבו (איור 2) [7]. אולי הבחנתם בכך שכאשר אתם נוקעים את הקרסול, רקמת הקרסול נעשית נפוחה, או שכאשר יש לכם חום, הריריים שלכם כואבים והמצח שלכם נעשה חם. אלה דוגמאות לתגובה דלקתית של הגוף שלכם. בהקשר הנכון, התגובות האלה מסייעות לגוף להחלים. אולם קשה להתנהל בחיי היומיום אם הקרסול שלכם מתנפח עד כדי כך שאינכם יכולים ללכת, וזה יכול להיות מסוכן להיות עם חום גבוה מדי. באופן דומה, דלקת ארוכת טווח או לא הכרחית שנגרמת על ידי אסטרוציטים יכולה לפגוע בתפקוד התקין של המוח.

מה הקשר בין עכברים שוחים לבין דמנציה?

כדי לבחון טיפולים אפשריים להשפעות המזיקות של מחסום דם-מוח דולף, היינו צריכים לשנות את הגנים של עכברים מסוימים. מטרתנו הייתה "להעיק", או לעשות נוקאאוט, לקולטן TGF-β שגורם לדלקת, באמצעות תהליך שנקרא **נוקאאוט גנטי**. במילים אחרות, השתמשנו בביוטכנולוגיה כדי למחוק את הקולטנים האלה מהדנ"א של עכבר. דנ"א הוא סרט כימי ארוך

דמנציה (Dementia)

מונח שמשמש לתיאור תסמינים כמו למשל ליקויים בזיכרון, בלמידה ובדיבור.

אסטרוציט (Astrocyte)

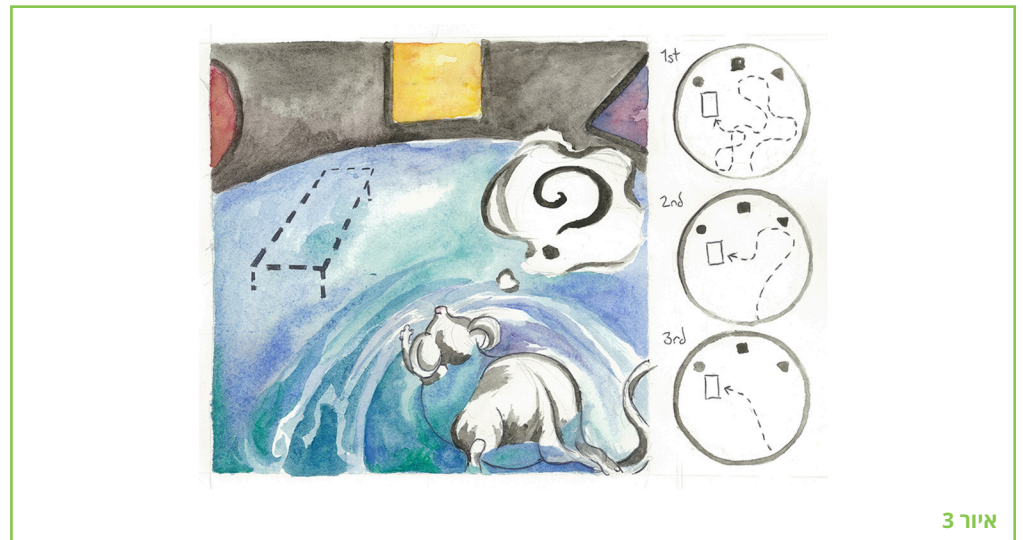
תא בצורת כוכב שיוצר חלק ממחסום דם-מוח ("אסטרום" משמעותו כוכב בלטינית).

נוקאאוט גנטי (Genetic Knockout)

שיטה שמסירה גן מסוים מהדנ"א של אינדיבידואל.

איור 3

עכבר מתאמן במבחן המים של מוריס, שבוחן הגיון מרחבי וזיכרון. צבע לבן מעורבב לתוך הבריכה כך שהעכבר לא יכול לראות בקלות את מיקום הפלטפורמה. במקום זאת, העכבר צריך להסתמך על צורות צבעוניות על גבי קירות הבריכה כדי לזכור היכן הפלטפורמה מוחבאת. בפאנל הימני אתם יכולים לראות את הלמידה של העכבר במהלך 3 ימים. אומנית: קרלי האוגן.



איור 3

שמכיל את הקוד הגנטי שלנו, ומידע על תכונות, כמו למשל צבע עיניים, גובה, ואפילו הסיכוי שלנו לחלות במחלות מסוימות. ביוטכנולוגיה מודרנית מאפשרת לנו להשתמש במולקולות מספרים כדי לחתוך כל חלק של הדנ"א. במקרה הזה, יכולנו להשתמש בטכנולוגיה הזו כדי לחתוך החוצה גן שמקודד לקולטן TGF- β , ולהדביק את שארית הדנ"א חזרה יחד לכדי סרט המשכי. דמיינו כמה מדהים זה, בהינתן שדנ"א הוא דק פי 40,000 מעוביה של פיסת נייר! לאחר מכן, עם העכבר שלנו שעבר שינוי גנטי, יכולנו לקבוע אם הפחתת תגובה דלקתית משפיעה על תפקוד המוח בגיל מבוגר.

אחד המבחנים החשובים שהשתמשנו בהם על העכבר שלנו שעבר שינוי גנטי נקרא **מבחן המים של מוריס**. במטלה הזו, עכברים ממוקמים בבריכה ענקית עם פלטפורמה חבויה (איור 3). עכברים הם שחיינים טובים באופן טבעי, אולם הם שונאים להירטב ולכן הם ינסו למצוא את הפלטפורמה שעליה יוכלו להישאר יבשים. אנו יכולים להעריך את המהירות שבה הם לומדים היכן נמצאת הפלטפורמה, ואם הם זוכרים את המיקום שלה בימים הבאים או לא – זה אומר לנו כמה טוב המוחות שלהם מתפקדים. במטרה להפוך את הדברים למורכבים יותר, אנו מערבבים צבע לבן במים כך שהעכברים לא יכולים לראות בדיוק היכן נמצאת הפלטפורמה. במקום זאת, הם צריכים להשתמש בארבע צורות צבעוניות על קירות הבריכה כדי לשנן את מיקום הפלטפורמה. אם היינו מסירים את שלט הרחוב מהרחוב שלכם, ככל הנראה עדיין הייתם מזהים היכן אתם גרים בהתבסס על סימני נוף שאתם רואים כל יום, כמו למשל מלונת הכלב בחצר הקדמית של השכן שלכם, או עץ אָדָר בפינת הרחוב שלכם. אחרי ימים רבים שבהם העכבר רואה היכן נמצאת הפלטפורמה, אם יש לו מוח בריא הוא מסוגל למצוא את הפלטפורמה החבויה בהתבסס על אותו העיקרון. אנו קוראים למבחן הזה הגיון מרחבי. אם אתם זוכרים, התפרקות של מחסום דם-מוח גורמת לנזק הרב ביותר לאזור במוח שנקרא היפוקמפוס. ההיפוקמפוס אחראי על הגיון מרחבי, כמו גם על יכולות למידה – שתי יכולות קוגניטיביות שלרוב נחלשות עם הגיל.

ראשית, ניסינו את מבחן המים של מוריס על קבוצה של עכברים מבוגרים עם נוקאאוט בקולטן TGF- β , והשווינו את הביצועים שלהם עם קבוצת ביקורת של עכברים מבוגרים שלא עברו נוקאאוט גנטי. אם ההשערה שלנו הייתה נכונה, עכברי הנוקאאוט היו צריכים ללמוד את מיקום

מבחן המים של מוריס (MWM - Morris Water Maze)

מבחן של יכולת למידה. עכברים ממוקמים בבריכה ענקית של מים, והם צריכים למצוא פלטפורמה חבויה.

הפלטפורמה מהר יותר מעכברי הביקורת, והיו צריכים להיות מסוגלים למצוא את הפלטפורמה באופן עקבי בימים הבאים. אולם התברר ששתי קבוצות העכברים היו מבוגרות מדי כדי לשחות כראוי, אז הן לא היו מסוגלות להשלים את המבחן [1]! מדע יכול להיות מתעתע באופן הזה. לעיתים, ישנם סיבוכים בלתי צפויים, ומדענים צריכים לחשוב על דרכים חדשות להתמודד עם המכשולים האלה.

במקום להשתמש בעכברים מבוגרים שלא יכולים לשחות, חזרנו על הניסוי עם עכברים צעירים יותר. כמו קודם, חילקנו את העכברים לשתי קבוצות – קבוצת נוקאאוט שלא היו לה קולטני TGF- β , וקבוצת ביקורת. אולם לעכברים צעירים כמעט ואין אלבומין במוח שלהם. משמעות הדבר היא שהיינו צריכים ליצור דרך מלאכותית לחקות את היבט ההזדקנות הזה. כדי לעשות זאת, השתלנו משאבה זעירה ששאבה אלבומין לתוך המוחות של שתי קבוצות העכברים במשך שבוע. הפעם, כאשר חזרנו על ניסוי מחסום המים של מוריס עם העכברים הצעירים שלנו, התוצאות שלנו היו משמעותיות. גילינו ששאיבת אלבומין לתוך מוחותיהם של עכברי קבוצת הביקורת הצעירים גרמה לתסמינים של הזדקנות – אובדן זיכרון ופעילות מוחית אבנורמלית. מצד אחר קבוצת עכברי הנוקאאוט הצעירים, שלמוח שלהם לא היה קולטני TGF- β שאלבומין יכול להיקשר אליהם, למדו את מיקום הפלטפורמה החבויה די מהר. התוצאות האלה מציעות שחסימת איתות TGF- β יכולה לטפל בנוק שנגרם למוח על ידי אלבומין [1].

טיפול אפשרי להתפרקות של מחסום דם-מוח

לרוע המזל, איננו יכולים (עדיין) לשנות את הגנים של אנשים במטרה לעשות נוקאאוט לקולטני ה-TGF- β שלהם, מאחר שביצוע שינוי גנטי כזה הוא גם לא אתי וגם קשה מאוד. במקום זאת, שאפנו ליצור תרופה שיכולה להשיג את אותו האפקט. קראנו לתרופה הזו IPW. IPW היא מולקולה קטנה שנקשרת לקולטן TGF- β ומונעת ממנו להיות מופעל. אתם יכולים לחשוב על IPW כשוער במשחק כדורגל. כאשר השוער חסר, שחקנים יכולים לבעוט את הכדור לרשת; באותו האופן, כאשר IPW לא נמצאת, אלבומין יכול להיקשר לקולטן TGF- β . אולם כאשר השוער חוסם את הדרך, הכדור לא יכול להיכנס לשער. באותו האופן, IPW חוסמת אלבומין מלהיקשר למטרה שלו, מה שמונע את ההתרחשות של איתות לדלקת.

כדי לבחון את יעילותה של IPW, השתמשנו במבחן אחר עבור עכברים שנקרא **מבוך T**. כפי שהשם מציע, עכברים ממוקמים במבוך בצורת T. כשהם נעים לאורך החלק האנכי של מחסום ה-T, העכברים צריכים לבחור אם לחקור את הזרוע הימנית או השמאלית של מחסום ה-T (איור 4). עכברים הם חיות סקרניות באופן טבעי, כך שעכברים בריאים ישנו את ביקוריהם בין הזרועות הימנית והשמאלית של המבוך כדי למקסם את החקירה שלהם. מצד שני עכברים מבוגרים יותר שסובלים מאובדן זיכרון שקשור בגיל נוטים לשכוח איזה צד הם כבר חקרו, ולכן לפעמים הם יחקרו את אותה הזרוע פעמים רבות ברצף. ממש כמו במבחן המים של מוריס, מבחני מבוך T בוחנים גם זיכרון וגם הגיון מרחבי, מה שמספק הערכה טובה לתפקוד ההיפוקמפוס. ביצועיהם של עכברים מבוגרים שטופלו באמצעות IPW היו טובים יותר מאלה של העכברים שלא טופלו [1], מה שאומר שחסימת הפעלת קולטן TGF- β משחזרת את הזיכרון של העכברים, ומאפשרת להם לפתור את המבוך ממש כמו עכברים צעירים.

מבוך T (T-maze)

מבחן לזיכרון. מאחר שעכברים אוהבים לחקור, הם עוברים את הבחינה כדי לראות אם הם מחליפים בין חקירת הזרועות השמאלית והימנית.

איור 4

עכבר חוקר מבוך T. עכברים מבוגרים שקיבלו טיפול באמצעות IPW נטו לחקר זרוע שונה של מבוך ה-T בכל פעם שהם מוקמו במבוך, בעוד שעכברי הביקורת שלא קיבלו טיפול לעיתים קרובות שכחו איזו זרוע הם כבר חקרו, ובחרו את אותה הזרוע שוב ושוב. אומנית: קרלי האוגן.



איור 4

מסקנות

לאן אנו ממשיכים מכאן? בצעדים הבאים שלנו, אנו שואפים להמשיך ולסגור את הפער בין עכברים לבני אדם, תהליך שיכול להיות ארוך ומורכב. צורות תרופת ה-IPW שלנו שאפשר לתת דרך הפה או בזריקה, מדכאות את קולטני ה- $TGF-\beta$ ברחבי הגוף, אולם מצאנו שמספיק לבצע נוקאאוט לקולטני $TGF-\beta$ על אסטרוציטים בלבד כדי להשיג את אותו האפקט. ישנן שאלות לא פתורות נוספות, כמו למשל האם ל-IPW יש תופעות לוואי בלתי רצויות, וכיצד אנו יכולים להשתמש בסריקה מוחית כדי לאתר דליפות במחסום דם-מוח במהלך בדיקה רפואית שגרתית. יש לנו המזל לשתף פעולה עם רופאים, כימאים ומהנדסים, בעודנו ממשיכים לפתח את הפתרון. השאלה של כיצד להאט - או אפילו להחזיר לאחור - את תהליך ההזדקנות היא שאלה גדולה, ונדרש יותר מסוג מחקר אחד כדי לענות עליה.

מאמר המקור

Senatorov, V. V., Friedman, A. R., Milikovsky, D. Z., Ofer, J., Saar-Ashkenazy, R., Charbash, A., et al. 2019. Blood-brain barrier dysfunction in aging induces hyperactivation of $TGF\beta$ signaling and chronic yet reversible neural dysfunction. *Sci. Transl. Med.* 11:eaaw8283. doi: 10.1126/scitranslmed.aaw8283

מקורות

1. Senatorov, V. V., Friedman, A. R., Milikovsky, D. Z., Ofer, J., Saar-Ashkenazy, R., Charbash, A., et al. 2019. Blood-brain barrier dysfunction in aging induces

- hyperactivation of TGF β signaling and chronic yet reversible neural dysfunction. *Sci. Transl. Med.* 11:eaaw8283. doi: 10.1126/scitranslmed.aaw8283
2. Bartsch, T., and Wulff, P. 2015. The hippocampus in aging and disease: from plasticity to vulnerability. *Neuroscience* 309:1–16. doi: 10.1016/j.neuroscience.2015.07.084
 3. Price, L., Wilson, C., and Grant, G. 2016. "Blood-brain barrier pathophysiology following traumatic brain injury," in *Translational Research in Traumatic Brain Injury*, Chapter 4, eds D. Laskowitz and G. Grant (Boca Raton, FL: CRC Press; Taylor and Francis Group). p. 1–25.
 4. Shlosberg, D., Benifla, M., Kaufer, D., and Friedman, A. 2010. Blood-brain barrier breakdown as a therapeutic target in traumatic brain injury. *Nat. Rev. Neurol.* 6:393–403. doi: 10.1038/nrneurol.2010.74
 5. Henemann, U., Kaufer, D., and Friedman, A. 2012. Blood-brain barrier dysfunction, TGF β signaling, and astrocyte dysfunction in epilepsy. *Glia* 60:1251–7. doi: 10.1002/glia.22311
 6. Alvarez, J. I., Katayama, T., and Prat, A. 2013. Glial influence on the blood brain barrier. *Glia* 61:1939–58. doi: 10.1002/glia.22575
 7. Cacheaux, L. P., Ivens, S., David, Y., Lakhter, A. J., Bar-Klein, G., Shapira, M., et al. 2009. Transcriptome profiling reveals TGF-beta signaling involvement in epileptogenesis. *J. Neurosci.* 29:8927–35. doi: 10.1523/jneurosci.0430-09.2009

פורסם אונליין: 24 בפברואר 2022

נערך על ידי: Michael A. Yassa

מנחה מדעי: Amanda McQuade

ציטוט: Lin JM, Senatorov VV Jr., and Kaufer D (2022) כשאנו מזדקנים, ה"מגן" שמגן על המוח Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2020.00010-he .דולף

Lin JM, Senatorov VV Jr and Kaufer D (2020) As We Age, The "Shield" That Protects the Brain Gets Leaky. *Front. Young Minds* 8:10 doi: 10.3389/frym.2020.00010

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים VS ו-DK מצהירים על אינטרס כלכלי בעבודה המתארת מאמר זה. המחבר הנוסף מצהיר שהמחקר נערך ללא אינטרסים מסחריים או כלכליים שיכולים להתפרש כניגוד אינטרסים.

COPYRIGHT © 2020 © Lin, Senatorov, and Kaufer 2022. זהו מאמר בנישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). 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

14-7, UC IRVINE BRAIN EXPLORER ACADEMY, גיל:

אנו חוקרי מוח מאקדמיית חוקרי המוח של אוניברסיטת קליפורניה, אירווין! בילינו את בקרי השבתות שלנו בלמידה על מוח ממצדנים במרכז לניורוביולוגיה של למידה וזיכרון. אנו אוהבים לקרוא ולסקור מאמרים של פרונטייה – מדע לצעירים!



הכותבים

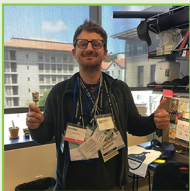
JESSICA M. LIN

Jessica M. Lin היא חוקרת בוגרת תואר ראשון במעבדה של Daniela Kaufer באוניברסיטת קליפורניה בברקלי. היא חוקרת כיצד הזדקנות משפיעה על מחסום דם-מוח, ואם להתפרקות של מחסום דם-מוח יש השפעה על מחלות אחרות שקשורות בהזדקנות, כמו למשל מחלת אלצהיימר. היא מקווה להשלים דוקטורט בעתיד הקרוב. בזמנה הפנוי היא נהנית לכתוב, לרקוד ולבלות עם הלטאה האחת, שלושת העכברושים וחתול המחמד האחד שלה.



VLADIMIR V. SENATOROV JR.

Vladimir V. Senatorov השלים דוקטורט במדעי המוח באוניברסיטת קליפורניה בברקלי בשנת 2018.



DANIELA KAUFER

Daniela Kaufer היא פרופסורית לביולוגיה אינטגרטיבית ומדעי המוח באוניברסיטת קליפורניה בברקלי. היא גדלה בישראל, שם היא קיבלה את הדוקטורט שלה במדעי המוח המולקולריים מהאוניברסיטה העברית. היא עברה לקליפורניה והייתה פוסט-דוקטורנטית באוניברסיטת סטנפורד. המעבדה שלה חוקרת כיצד המוח מתמודד עם הפרעות כמו סטרס ופגיעה מוחית, ומהם המנגנונים ששולטים בנתיבי העמידות והפגיעות במהלך החיים. מחוץ למעבדה היא נהנית לטייל ולעשות קמפינג עם המשפחה שלה, לתרגל יוגה ולבשל. *danielak@berkeley.edu



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