

# פגיעות בחוט השדרה עקב זיהומים מנגיפים

תקציר:

פגיעות חוט השדרה נגרמות עקב מגוון רחב של סיבות חבלתיות ולא חבלתיות. פגיעות חוט השדרה שאינן חבלתיות מהוות תחום מתפתח בעל חשיבות גוברת בעולם הרפואה, כשמחקרים מצביעים על מגמת עלייה בשכיחותן, בחלקן בגלל התבגרות האוכלוסייה. כ-9% מסך פגיעות אלו, הן משניות לסיבה זיהומית. לפגיעה בחוט השדרה יש השלכות מהותיות על איכות חייו של המטופל. תהליך שיקום מוצלח מתמקד בהשגת עצמאות מרבית ובהצבת מטרות ברורות השגה, בהתאם לצרכים והרצונות של המטופל. על הצוות המטפל להכיר את המהלך הטבעי הצפוי ולהביא בחשבון את מערכות התמיכה הקיימות לרשות המטופל, ובאמצעות מודל טיפולי על ידי צוות בין מקצועי לנסות לצמצם את הפגיעה במעגלי החיים ככל האפשר. במאמר זה, נסקור את הסיבות הנגיפיות העיקריות לפגיעות בחוט השדרה. נדון באפידמיולוגיה, בהיבטים הקליניים ובמשמעויות הייחודיות של תת קבוצה זו בתהליך השיקום.

קרן סיון־שפייר  
אבי עורי  
רפי חרותי

מרכז רפואי-שיקומי רעות

מילות מפתח: פגיעות בחוט השדרה; פגיעה שאינה מחבלה ("חבלתית"); זיהום מנגיף; שיקום; צוות רב מקצועי.  
KEY WORDS: Spinal cord injury; Non-traumatic injury; Viral infection; Rehabilitation; Transdisciplinary team

## הקדמה

פגיעות חוט שדרה נגרמות עקב מגוון רחב של סיבות חבלתיות ולא חבלתיות. פגיעות בחוט השדרה שאינן חבלתיות הן תחום מתפתח בעל חשיבות גוברת בעולם הרפואה, כשמחקרים מצביעים על מגמת עלייה בשכיחותן, בחלקן בגלל התבגרות האוכלוסייה. על פי מחקר שנערך בספרד בין השנים 1972–2008, כ-50% מסך כל פגיעות חוט שדרה אינן חבלתיות. מתוך אלה כ-9% הן משניות לסיבה זיהומית [1].

## מטרות

במאמר זה נסקור את הסיבות הנגיפיות העיקריות לפגיעות בחוט השדרה. נדון באפידמיולוגיה, בהיבטים הקליניים ובמשמעויות הייחודיות של תת קבוצה זו בתהליך השיקום.

## שיטות מחקר

נערכה סקירת ספרות באמצעות PUBMED.

## תוצאות

מיאליטיס ורדיקוליטיס מאופיינים בתהליך דלקתי של חוט שדרה והשורשים, בהתאמה. זיהומים נגיפיים עשויים לגרום נזק עצבי ישיר (מיאליטיס), או לדה־מיאליניזציה משנית לתגובה לא מבוקרת של מערכת החיסון (מיאלופתיה). על פי רוב למיאליטיס יש מהלך חד יותר ממיאלופתיה. חדות ההופעה וקצב המהלך הקליני חשובים מאוד בתהליך האבחון. רוב הפגיעות ממקור וסקולרי הן חדות, והפגיעה

הנירולוגית מגיעה לשיאה באופן מהיר ומיידי. הפגיעה ממקור דה־מיאלינטיבי, כולל זו הנראית בטרשת נפוצה ו־*neuromyelitis optica*, היא בעלת אופי ממושך יותר ורב שלבי. פגיעות חוט שדרה ממקור אונקולוגי הן בעלות אופי מתקדם איטי בדומה למהלך מחלות ניווניות. תהליך דלקתי בחוט שדרה ושורשי העצבים של השדרה עלול להופיע באופנים שונים, מהסתמנות חדה להסתמנות כרונית. מיאליטיס ורדיקוליטיס חדים מופיעים לרוב בליווי חום, עייפות ותפרחת בעור. נגיפים ממשפחת השלבקת (הרפס) (כגון *cytomegalovirus*, *varicella zoster virus* VZV, ונגיפים ממשפחת *enteroviruses* (כגון *poliovirus*, *enterovirus 71*) יכולים להופיע באופן חד עם התפתחות חדה של התסמינים. *Guillain-Barre*, (*ADEM*) *disseminated encephalomyelitis*, *GBS syndrome* (ATM) *Acute transverse myelitis*) מופיעים לרוב 7–10 ימים לאחר התחלת הזיהום. מיאליטיס כרוני ומתקדם (פרוגרסיבי) יכול להיגרם כתוצאה מזיהום על ידי נגיף רטר, כגון *Human T-lymphotropic virus type 1* (HTLV1) הגורם למיאלופתיה. מטופלים נשאי HIV עלולים לפתח גם מיאלופתיה [2].

## נגיפי שלבקת [Herpes viruses]

נגיפים ממשפחת השלבקת כוללים את נגיף הוואריצלה זוסטר (VZV – *varicella zoster*), נגיף שלבקת פשוטה (HSV) *herpes simplex virus*, נגיף אפשטיין־באר – *Epstein-Barr virus* ונגיף ציטומגלו – *cytomegalovirus*, וכולם יכולים לגרום לפגיעה בחוט השדרה. בסקירה זו נתמקד בזיהומים בנגיף שלבקת פשוטה (HSV) ובנגיף ואריצלה זוסטר (VZV). זיהום ראשוני בנגיף ממשפחת שלבקת לרוב מאפיין

מפתחים מחלה קלה הנמשכת ימים ספורים, עם חום, כאב ראש, כאב בטן, כאב גרון, בחילה והקאות [7]. מתוך נתוני ארגון הבריאות העולמי עולה, כי אחד מתוך 200 נדבקים לוקה בשיתוק בלתי הפיך (על פי נתוני משרד הבריאות הישראלי – אחד מתוך 1000 נדבקים). היארעות פוליומיאליטיס ירדה משמעותית תודות לתוכנית החיסונים. בשנת 1988, ההיארעות השנתית העולמית הוערכה כ-350 אלף חולים, ובשנת 2018 דווח על 33 חולים בלבד [8]. פוליומיאליטיס פוגעת לרב בילדים מתחת לגיל חמש שנים. רוב האוכלוסייה בישראל מחוסנת נגד נגיף הפוליו. יחד עם זאת, ידוע שקיימת אוכלוסייה לא מחוסנת, כגון תינוקות שטרם השלימו את סדרת החיסונים שלהם, ילדים ומבוגרים הלוקים בדיכוי חיסוני וכן מבוגרים שרמת החסינות שלהם דעכה. ילדים שלא קיבלו חיסון OPV וקיבלו את כל מנות החיסון כנגד IPV עדיין עלולים להעביר את הנגיף לבני משפחה שאינם מחוסנים. מטרת החיסון היא למנוע מצב זה [7].

בשנת 1988, הייתה התפרצות של מגפת שיתוק ילדים בישראל, בעיקר באזור נפת חדרה. מאז לא דווח בישראל על חולים נוספים. בשנת 2013 התגלה נגיף הפוליו בדגימות שגרתיות במערכת הביוב בדרום הארץ, ומשרד הבריאות השיק מסע פרסום להעלאת שיעור ההתחסנות [9]. לפי נתוני ארגון הבריאות העולמי, נכון להיום שלוש מדינות מוגדרות אנדמיות לפוליו והן ניגריה, אפגניסטן ופקיסטן [8]. הפגיעה החדה לרוב מאופיינת בשיתוק רפה. מטופלים עם אנמנזה של פוליומיאליטיס עלולים לסבול ממגבלה חדשה או מהחמרה של המגבלה הקיימת לרבות חולשה, נימול, וכאב, אשר מופיעים 10-50 שנים לאחר הופעת המיאליטיס. מצב זה נקרא תסמונת בתר-פוליו (Post-polio syndrome – PPS), ואינו נחשב להישנות אלא להפרעה שניונית. מאמץ גופני קל עלול לגרום לעומס על השרירים שניזוקו בעקבות הפוליומיאליטיס, ולהביא לניווט שניוני של העצב והשריר. בנוסף, שינויים משניים להזדקנות והפעלת שרירים מופחתת, עלולים להביא להאצת התהליך הניווני.

שיעור ההיארעות של PPS הוא 40%-60%. האבחנה נקבעת על פי אנמנזה מתאימה ושליטת גורמים אחרים [2]. קיימות מספר אסטרטגיות שיקום אפשריות ב-PPS: (1) **חיזוק שרירים**: יכול להיות יעיל עבור קבוצות שרירים עם כוח המאפשר התנגדות לכוח הכבידה, בעצימות מתונה ובמקטעים המאפשרים מנוחה, תוך ניטור תקופתי וקבוע של סבולת המטופל והתאמה של תכנית השיקום במקרה של כאב או עייפות שרירים; (2) **הידרותרפיה**: טיפול הבחירה עבור מטופלים עם PPS. מאפשרת אימון שרירי עם התנגדות מבוקרת, ובנוסף הפעלה עצמית אקטיבית נעזרת בשרירים פגועים תוך הפחתת כוח הכבידה. במספר מחקרים נצפו תוצאות טובות בהפחתת כאב ובשיפור בכוח שריר; (3) **אימון סיבולת**: במטופלים לאחר פגיעה חדה בפוליומיאליטיס, המאמץ האנרגטי הנדרש לבצוע הליכה ומטלות יומיומיות בסיסיות הוא גבוה. יש לבצע הערכת סיבולת לב ריאה, אשר עלולה אף היא להחמיר במקרה של PPS.

במחקר שנבדק בו תכנית שיקום סיבולת למשך 8-16 שבועות, אשר כללה שלושה אימונים בשבוע, 20-40 דקות כל אימון, בעצימות בינונית, נצפה שיפור במדדים כגון ירידה

את גיל הילדות ויכול להיות ללא תסמינים או להתבטא בחום, בתפרחת ובמעורבות של ריריות [3]. מאפיין משותף למשפחת השלבקת הוא הישארות סמויה לטנטית ב-dorsal root ganglion או ברקמה לימפואידית.

### נגיף הוואריצלה זוסטר (Varicella Zoster Virus - VZV)

לאחר אבעבועות רוח, VZV נמצא במצב רדום בגנגליה. שפעול מחדש של הנגיף יכול להתבטא במספר אופנים ביניהם שלבקת חוגרת, וסקולופתיה בכלי דם של המוח (בעיקר בקרב מדוכאי חיסון) ומיאליטיס [3]. תיאור של פגיעה בלעדית בחוט שדרה הוא נדיר בספרות.

זיהום ב-VZV מביא לנזק לחוט השדרה, לתגובה חיסונית לא מבוקרת ולווסקוליטיס. אבחנה קלינית לרב מושגת על ידי מהלך הזמן האופייני בין הופעת התפרחת בעור לבין התסמינים הניורולוגיים.

מיאליטיס מופיעה לאחר מספר ימים עד חודשים מהופעת התפרחת לראשונה. התפרחת והתסמינים הניורולוגיים לרב יופיעו באותו הצד, מאחר ש-VZV מגיע לחוט שדרה דרך השורשים האחוריים. עשויות להופיע הפרעה תנועתית/ חושית חד צדדית או אסימטרית עם הפרעות בתפקוד השלפוחית או המעי.

בפתולוגיה מודגם לרוב נזק משמעותי לשורשים האחוריים ולעמודות האחוריות בחוט השדרה, ולעיתים ניתן להדגים גם התפשטות אנכית לאורכו. בבדיקה פתולוגית מודגמת לרוב התאמה בין גובה הפגיעה בחוט שדרה לבין גובה התפרחת בעור [2].

### נגיפי שלבקת פשוטה (Herpes Simplex Viruses)

מיאליטיס היא הסתמנות נדירה של נגיף שלבקת פשוטה (HSV), והיא מאפיינת יותר זיהומים ב-2HSV מאשר ב-1HSV ולרוב קשורה לדיכוי חיסוני. יש פרשות חולים של מטופלים ללא כשל חיסוני [5,4]. מדווח בספרות על כך ש-1HSV גורם לרוב למיאליטיס המערבת את חוט שדרה של הצוואר ובית החזה, ואילו 2HSV יכול לערב את חוט שדרה לכל אורכו [4]. ממודלים של חיות עולה ההשערה שיש מספר אתרים שבהם הנגיף יכול להימצא רדום, והם Dorsal Root Ganglia (DRG), חוט השדרה ומערכת העצבים האוטונומית [6].

ההסתמנות הראשונית של HSV-myelitis היא הפרעה סנסורית-מוטורית של הגפיים התחתונים והפרעה בנקיטת שתן. הסתמנות שהיא התנמקות גוברת (ascending necrotizing) קשורה לרוב באנצפליטיס, בטטרפלגיה ובשיתוק של שרירי הנשימה, ועל כן קשור בפרוגנוזה קשה יותר [4].

### נגיף הפוליו (Polio Virus)

הפוליו היא מחלה זיהומית הנגרמת על ידי נגיף הפוליו השייך לקבוצת נגיפי המעיים, קיימים שלושה זני פוליו אשר עלולים להביא לפוליומיאליטיס. הנגיף חודר לגוף דרך הפה ומופרש בצואה, וכך הוא מועבר מאדם לאדם. רוב מקרי ההדבקה באדם הם ללא תסמינים (מעל 90% מכלל הנדבקים), כ-10%

לערב גף אחד עד לטטרפלגיה מלאה, עם מעורבות עצבי הגולגולת או מעורבות בולברית. מעורבות אוטונומית המתבטאת כתפקוד לקוי של השלפוחית דווחה ב-22% מהמטופלים. שיעור של 26% לוקים במעורבות עצבי הגולגולת וקושי בבליעה (דיספגיה). ההשערה הרווחת היא שמתרחש נזק לקרן הקדמית של חוט שדרה, בין עם נזק ישיר עקב חדירה מקומית של הנגיף ובין אם בעקבות נזק עקיף משני לתגובה חיסונית [21].

## דיון

בסקירה זו, שמנו זרקור על תת קבוצה של פגיעת חוט שדרה לא חבלתית. במציאות של מערכת הבריאות בישראל, נפגעי חוט שדרה כתוצאה ממחלה זיהומית לרב נסמכים על מימון עצמי או מימון של ביטוח בריאות/סיעודי פרטי שרכשו מראש, זאת בשונה מנפגעי חוט שדרה כתוצאה מתאונות דרכים, תאונות עבודה או נפגעי הצבא.

■ **פגיעות בחוט השדרה נגרמות עקב מגוון רחב של סיבות חבלתיות ולא חבלתיות. סיבות זיהומיות מהוות כ-9% מבין פגיעות בחוט השדרה שאינן חבלתיות ולכל מחולל מהלך מחלה ותבנית פגיעה אופייניים.**

■ **נפגעים בחוט השדרה מסיבה זיהומית מהווים תת קבוצה ייחודית הן בשל מגוון ההסתמנויות הקליניות והן בשל מיעוט מקורות תמיכה כלכליים, בשונה מנפגעי חוט שדרה כתוצאה מתאונות שונות או נפגעי צבא.**

■ **יש חשיבות רבה לתת לכך את הדעת בתהליך השיקום ובאמצעות מודל טיפולי הוליסטי לנסות לצמצם ככל האפשר את הפגיעה במעגלי החיים.**

עצמי. זהו נטל כלכלי קשה, המעצים את ההשלכות הנפשיות המשפחתיות והחברתיות של הפגיעה הראשונית.

## לסיכום

תהליך שיקום מוצלח מתמקד בהשגת עצמאות מרבית, והצבת מטרות ברורות השגה בהתאם לצרכים והרצונות של המטופל. במקרה של נפגעי חוט שדרה מסיבה זיהומית, לסיבת הפגיעה יש משמעות נוספת מעבר להיכרות עם המהלך הטבעי הצפוי, תיאום ציפיות והגדרת יעדי תהליך השיקום. על הצוות המטפל להביא בחשבון גם את מקורות התמיכה הכלכליים, או היעדרם, ובאמצעות מודל טיפולי הוליסטי בסיוע של צוות בין מקצועי, לנסות לצמצם את הפגיעה במעגלי החיים ככל האפשר. ●

מחברת מכותבת: קרן סיון שפייר  
דוא"ל: kerensivan@gmail.com

בדופק הלב, לחץ הדם וצריכת החמצן בעת האימון. לא נבדקה השפעה תפקודית והשפעה על איכות החיים לטווח הארוך; (4) **גישה חינוכית שיקומית:** עייפות מתגברת היא תלונה שכיחה במטופלים הלוקים ב-PPS, לרוב מתוארת על ידי המטופלים כתחושה שעליהם לאלץ עצמם לבצע פעולות יומיומיות פשוטות שבעבר ביצעו ללא קושי. על כן יש לשים דגש על לימוד שיטות לשימור אנרגיה ושינוי באורחות חיים, לדוגמה לשמור על משקל גוף יציב, לבצע עבודה בישיבה ככל האפשר, ולתכנן מאמצים כדי להפחית את תדירות המעברים משיבה לעמידה. יש להציע למטופלים אמצעים משמרי אנרגיה החל מאביזרי עזר להליכה, התאמת סביבת הבית והעבודה, וכלה בבקשת עזרה מאדם נוסף. ייתכן שבקשת העזרה היא הצעד הקשה ביותר, מאחר שהיא עלולה להיתפס בעיני מטופלים ככניעה וכפגיעה משמעותית בעצמאותם. אולם בהסתכלות לטווח הרחוק זהו חלק בלתי נפרד מניהול אורח חיים בריא [10]. קיימים זנים נוספים אשר יכולים לגרום לשיתוק רפה, כולל Cocksackie virus, Enterovirus-68, Enterovirus-71, Echovirus. מצבים אלו נקראים Polio-like syndrome והם בעלי פרוגנוזה טובה יותר מפוליומיאליטיס.

## נגיף מערב הנילוס [West Nile virus]

נגיף קדחת מערב הנילוס (West Nile Virus – WNV) הוא גורם תחלואה משמעותי בעולם ובישראל. הוא מועבר לבני אדם על ידי עקיצת יתוש, שניזון מעופות נגועים. תפוצתו משתנה בהתאם למיקום גאוגרפי ועונתיות, ועם התחממות האקלים בעולם הטווח הגיאוגרפי של יתושים נגועים ב-WNV מתרחב. מרבית הנדבקים ב-WNV הם ללא תסמינים, וכ-20% מפתחים הסתמנויות קליניות עם קשת תסמינים רחבה, החל מדרגה קלה (חום, כאב ראש, כאב גב, כאבי שרירים וירידה בתיאבון) [11], וכלה במעורבות נוירולוגית חמורה ואף קטלנית, כולל שיתוק רפה, מנינגואנצפליטיס, אנצפליטיס ומנינגיטיס [12,13].

על פי נתוני ה-CDC, שיעור המעורבות הנוירולוגית בקרב מקרי ההדבקה ב-WNV המדווחים בשנים האחרונות הוא מעל 50% [14].

במדינת ישראל, תקופת השיא של פעילות הנגיף היא בין אמצע אוגוסט לבין אמצע אוקטובר. במהלך שנת 2018, עד ה-12.11.2018, דווח בישראל על 139 חולי WNV, מעל 50 חולים במהלך חודש אוגוסט, כאשר מרבית המטופלים ממישור החוף. יתושים נגועים ב-WNV נמצאו ב-41 מיקומים שונים ברחבי הארץ. מתוך 139 המטופלים, ל-76 מטופלים הייתה מעורבות נוירולוגית [15,16].

בסקירת ספרות שעסקה בפרמטרים אפידמיולוגיים של ההסתמנויות השונות של WNV, הוצג קונצנזוס לכך שגיל מבוגר הוא גורם סיכון למעורבות עצבית ולתמותה [12]. בשלוש סדרות שבהן תוארו מטופלים עם זיהום WNV שהצריך אשפוז, 10%-41% לקו ב-AFP [17-19]. במחקר אחר, מתוך 43 מטופלים עם WNV, 70% סבלו מחולשת שרירים כלשהי [20].

ההסתמנות של AFP היא פתאומית ואסימטרית, וקיימת אבחנה מובדלת של תסמונת גיליאן-בארה. השיתוק עשוי

ביבליוגרפיה

1. Van den Berg MEL, Castellote JM, Mahillo-Fernandez I & al, Incidence of nontraumatic spinal cord injury: a Spanish cohort study (1972-2008). Arch Phys Med Rehabil. 2012 Feb;93(2):325-31.
2. Yokota H & Yamada K, Viral infection of the spinal cord and roots. Neuroimaging Clin N Am. 2015 May;25(2):247-58.
3. Gilden DH, Mahalingam R, Cohrs RJ & al, Herpesvirus infections of the nervous system. Nat Clin Pract Neurol [Internet]. 2007 Feb 1;3:82. Available from: <https://doi.org/10.1038/ncpneuro0401>.
4. Figueroa D, Isache C, Sands M & al, An unusual case of acute transverse myelitis caused by HSV-1 infection. IDCases. 2016;5:29-31.
5. Nardone R, Versace V, Brigo F & al, Herpes Simplex Virus Type 2 Myelitis: Case Report and Review of the Literature. Vol. 8, Frontiers in neurology. Switzerland; 2017. p. 199.
6. Ohashi M, Bertke AS, Patel A & al, Spread of herpes simplex virus to the spinal cord is independent of spread to dorsal root ganglia. J Virol. 2011 Mar;85(6):3030-2.
7. משרד הבריאות הישראלי. חיסון פרליו [Internet]. [cited 2002 Sep 20]. Available from: [https://www.health.gov.il/Subjects/vaccines/two\\_drops/Pages/Vaccination.aspx](https://www.health.gov.il/Subjects/vaccines/two_drops/Pages/Vaccination.aspx).
8. World Health Organization. Poliomyelitis [Internet]. Available from: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/poliomyelitis>
9. Anis E, Kopel E, Singer SR & al, Insidious reintroduction of wild poliovirus into Israel, 2013. Euro Surveill Bull Eur sur les Mal Transm = Eur Commun Dis Bull. 2013 Sep;18(38).
10. Tiffreau V, Rapin A, Serafi R & al. Post-polio syndrome and rehabilitation. Ann Phys Rehabil Med. 2010 Feb;53(1):42-50.
11. Sampathkumar P. West Nile virus: epidemiology, clinical presentation, diagnosis, and prevention. Mayo Clin Proc. 2003 Sep;78(9):1137-43; quiz 1144.
12. Yeung MW, Shing E, Nelder M & al, Epidemiologic and clinical parameters of West Nile virus infections in humans: a scoping review. BMC Infect Dis. 2017 Sep;17(1):609.
13. Staples JE, Shankar MB, Sejvar JJ & al, Initial and long-term costs of patients hospitalized with West Nile virus disease. Am J Trop Med Hyg. 2014 Mar;90(3):402-9.
14. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). West Nile virus disease cases reported to CDC by state and year, 1999-2017 [Internet]. ArboNET, Arboviral Diseases Branch. 2017 [cited 2019 Feb 24]. Available from: <https://www.cdc.gov/westnile/statsmaps/cumMapsData.html#one>
15. Lustig Y, Gosinov R, Zuckerman N & al, Epidemiologic and phylogenetic analysis of the 2018 West Nile virus (WNV) outbreak in Israel demonstrates human infection of WNV lineage I. Euro Surveill Bull Eur sur les Mal Transm = Eur Commun Dis Bull. 2019 Jan;24(1).
16. משרד הבריאות הישראלי. Morbidity status report 2018 [Internet]. Available from: <https://www.health.gov.il/English/Topics/Diseases/WNF/Pages/StatusReport2018.aspx>
17. Emig M & Apple DJ, Severe West Nile virus disease in healthy adults. Clin Infect Dis. 2004 Jan;38(2):289-92.
18. Pepperell C, Rau N, Krajden S & al, West Nile virus infection in 2002: morbidity and mortality among patients admitted to hospital in southcentral Ontario. CMAJ. 2003 May;168(11):1399-405.
19. Nash D, Mostashari F, Fine A & al, The outbreak of West Nile virus infection in the New York City area in 1999. N Engl J Med. 2001 Jun;344(24):1807-14.
20. Fleischauer AT, Williams S, O'Leary DR & al, The West Nile virus epidemic in Arkansas, 2002: the Arkansas Department of Health response. J Ark Med Soc. 2003 Sep;100(3):94-9.
21. Saad M, Youssef S, Kirschke D & al, Acute flaccid paralysis: the spectrum of a newly recognized complication of West Nile virus infection. J Infect. 2005 Aug;51(2):120-7.

כרוניקה

יצירת נוגדנים רחבי טווח לחיסון נגד איידס



מועמדים אימונוגניים למטרה זו. סונדרס וחב' תכננו וביתחו אימונוגנים בעלי יכולות קשירה שונות לחומרי המוצא של נוגדנים, דבר שאיפשר ברירה של מוטציות נדירות לאחר החיסון. בניסויים בעכברים ובקופים, פעלו האימונוגנים כמצופה והשרו התבגרות של חומרי המוצא של הנוגדנים של הנוגדנים (Science 2019;366:eaax4380, eay7199).

איתן ישראלי

פיתוח תרכיב יעיל נגד איידס הוא מטרה ששואפים אליה כבר 35 שנים. תרכיב מוצלח צריך לגרום השראת יצירת נוגדנים רחבי טווח מוטרילים, שמשגולים לנטרל זנים רבים של נגיף HIV. סטייכן וחב' מדווחים על אסטרטגיה שלפיה החיסון הראשון יכול להוביל לתגובה חיסונית שתייצר את הנוגדנים הרצויים. תוך שילוב ידע מרפרטואר ומבנה של נוגדנים, החוקרים הצליחו בניסויים מקדימים רפואיים לאתר ולוודא את תפקודם של