

ניורופלסטיות: המוח משתנה עם הזמן!

Daniel Menezes Guimarães^{1*}, Bruna Valério-Gomes¹, Roberto Lent^{1,2}

¹המעבדה לניורופלסטיות, המכון למדעי הביו-רפואה, האוניברסיטה הפדרלית של ריו דה ז'נרו, ריו דה ז'נרו, ברזיל
²מכון דאור למחקר ולחינוך, ריו דה ז'נרו, ברזיל

ייתכן שתופתעו מכך, אך המוח תמיד משתנה – הוא מסגל את עצמו לחוויות חיים חיוביות ושליליות. אנו קוראים לזה ניורופלסטיות. אף על פי שניורופלסטיות בדרך כלל מסייעת לנו להתמודד עם בעיות, לעיתים דברים משתבשים, והשינויים שמויצרים על ידי ניורופלסטיות מזיקים לאדם. במאמר זה, נתאר שני מקרים של ניורופלסטיות – אחד חיובי והשני מזיק. המקרה החיובי עוסק בשינויים שמתרחשים כשאנו צעירים וחווים חוויות חברתיות טובות. המקרה השלילי עוסק בתסמונת 'ג'ף פנטום', תופעה משונה שמורגשת על ידי קטועי איברים בגפיים ובאיברים שלהם... שכבר אינם נמצאים!

מהי ניורופלסטיות?

כולנו שמענו משפטים כמו "המוח הוא מבנה מורכב!", או "המוח שולט בכל תפקודי הגוף!", אולם מה שמעטים מאיתנו יודעים הוא שהמוח לא סתם מונח בתוך גולגולתנו ולא משתנה. המוח תמיד מסתגל לדברים שונים ולמצבים שונים. אחרי שתסיימו לקרוא את המאמר הזה, אנו מביטיחים שמוחכם יהיה שונה!

סוקרות צעירות

ASHLEY

גיל: 12



SAMANTHA

גיל: 15



ניורופלסטיות (Neuroplasticity)

יכולתו של המוח לשנות את המבנה שלו ואת תפקודו בתגובה לאירועי החיים.

פלסטיות בלתי מסתגלת (Maladaptive Plasticity)

סוג מזיק של פלסטיות, כמו למשל זה שמתרחש בתסמין גף הפנטום.

מערכת הקוגניציה החברתית (Social Cognition System)

קבוצת כישורים ואזורים במוח שאחראים על הבנת כללים חברתיים ועל הכוונת התנהגותנו.

תקופה קריטית (Critical Period)

מסגרת הזמן שבה ההתפתחות של אזורים מסוימים במוח ויכולת הלמידה של המוח, מועצמות.

ניורון (Neuron)

אחד מהתאים הרבים שמרכיבים את המוח. ניורונים מתחברים זה לזה ויוצרים מעגלים, בדומה לפסי רכבת. זה האופן שבו מידע עובר במוח.

מיאלינציה (Myelination)

תהליך שבו חלקים מהניורון מכוסים על ידי ממברנות של חומר שנקרא מיאלין. מיאלין מתפקד כמו הגומי שמכסה חוטי חשמל, והוא מגביר את המהירות שבה מידע עובר מניורון אחד לאחר.

המוח משנה את עצמו בתהליך שנקרא **ניורופלסטיות**. בואו נפענח את המילה הזו. ניורופלסטיות היא שילוב של שני מונחים: *ניורו* ו*פלסטיות*. כשאנו מדברים על משהו שקשור למוח, אנו משתמשים בקידומת *ניורו*. המונח השני, *פלסטיות*, מתייחס לעובדה שהמוח תמיד מתמיר את עצמו. כשאתם פוגשים מישהו או לומדים עובדה חדשה, מוחכם משנה את המבנה שלו ואת תפקודו. הסביבה יכולה לשנות את מוחותינו, אפילו אם איננו מודעים לכך. אירועים מסוימים משנים את האופן שבו תאי המוח מתקשרים זה עם זה, על ידי חיזוק התקשורת ביניהם או החלשתה. אירועים אחרים יעצבו את האופן שבו המוח מפרש דברים. כל השינויים האלה בסופו של דבר משפיעים על התנהגותנו!

לפני שנמשיך לדוגמאות, עלינו להביא בחשבון שני דברים. ראשית, ניורופלסטיות משתנה עם הגיל. כשאנו גדלים, המוח ממשיך למצוא דרכים להתמודד עם דברים חדשים ומצבים חדשים [1, 2]. היכולת לעשות זאת קשורה לבריאות המוח. מדוע אנשים מבוגרים יותר שתמיד עשו פעילות גופנית וקראו הרבה ספרים נוטים פחות לשכוח דברים? מאחר שמוח פעיל ובריא יכול לאחסן יותר משאבים מנטליים שאפשר להשתמש בהם, כשהוא מתבגר, כדי לשנות את עצמו. הדבר השני שעלינו להביא בחשבון הוא שחלק מהאירועים הניורופלסטיים עלולים שלא להיות מועילים עבורנו, ואפילו מזיקים ביותר! זה מה שמכונה **פלסטיות בלתי מסתגלת** [3].

חוויות חברתיות וניורופלסטיות

אם כן, אנו יודעים שאנו תמיד צריכים לנסות לתרגל פעילויות שמעוררות בנו מעורבות, כדי להגביר את יכולותיו של המוח. דבר זה חשוב ביותר אם אנו רוצים לשמור על בריאותו של המוח גם בגיל מבוגר. אולם האם יש יתרונות לניורופלסטיות עבור מוחות צעירים? התשובה היא ללא ספק כן! מדענים מצאו שישנן מסגרות זמן מסוימות בחייו שבמהלכן מתחזקות הלמידה של המוח והתפתחותו. זה נכון למשל למערכת הראייה, ואפילו למערכות מורכבות יותר כמו **מערכת הקוגניציה החברתית**, שהיא קבוצה של אזורים במוח שמסייעים לנו להבין מידע חברתי. אנו קוראים לרגעים האלה של פלסטיות מוגברת בשם **תקופות קריטיות**.

ישנן גם תקופות קריטיות של ניורופלסטיות. כדוגמה ראשונה, נראה כיצד הסביבה משפיעה על הלמידה חברתית בתקופה קריטית במהלך גיל ההתבגרות. ראשית, בואו נצלול לרגע למבנה המיקרוסקופי של המוח.

המוח מורכב מהרבה תאי עצב, שנקראים **ניורונים**. כמעט בכל אזור במוח, הניורונים עוברים **מיאלינציה** – תהליך של כיסוי הניורונים על ידי ממברנה שומנית (עשירה בליפידים) שנקראת מיאלין. מיאלינציה מגבירה מאוד את יעילות פעולתו של המוח. התקופה הקריטית של מיאלינציה עבור ניורונים, משתנה בין אזורי מוח שונים. האזור במוח שמסייע לנו להבין רגשות, זיכרון ומידע חברתי, שנקרא קליפת המוח הקדם-מצחית המרכזית (mPFC - medial prefrontal cortex), הוא אחד האזורים האחרונים שעוברים מיאלינציה. מיאלינציה של ה-mPFC מתרחשת במהלך גיל ההתבגרות.

גיל ההתבגרות הוא תקופה מורכבת בהתפתחות של יכולותינו החברתיות, מאחר שזהו הזמן שבו אנו מתחילים לתקשר באופן קרוב יותר עם חברים ועם מבוגרים. במהלך התקופה הזו מוחותינו נדרשים להתמודד עם כמות עצומה של מידע חברתי, כשאנו שואלים שאלות כמו

“על מי אני דלוק/ה?”, או “כיצד עליי לדבר איתו/איתה ולהציע לו/לה לצאת לדייט?” כדי לנווט במצבים האלה, הניורונים במוח צריכים “לדבר” זה עם זה במסגרת של מעגלים ניורונים מורכבים, במטרה לסייע לאדם לנווט בעולם החברתי. אם אנו מבקשים לנהל את המצבים האלה באופן מוצלח, הכול צריך לעבוד כשורה.

הבעיה היא שאיננו נולדים מוכנים לאינטראקציות כאלה. אף על פי שתאי המוח והמעגלים נמצאים שם כולם, ראשית עלינו לשפרם ולעשות אופטימיזציה לתפקודם.

לפני זמן לא רב, מדענים גילו שבמהלך גיל ההתבגרות משהו מתניע את המיאליניזציה של ניורונים ב-mPFC, מה שמסייע לנו להתמודד טוב יותר עם מצבים חברתיים. עובדה מעניינת: האירוע שמתניע את תהליך המיאליניזציה הזה הוא אינטראקציה חברתית! לכן, אם אתם רוצים להיות טובים באינטראקציה חברתית, ראשית עליכם לבצע אינטראקציה כזו – זה אחד המקרים שבהם “אימון מוביל לשלמות”. ראיות מהזמן האחרון מצביעות על כך שבין גילי 15-20 המוח נמצא בשיא הפוטנציאל שלו להתמיר את עצמו [4]. זוכרים את התקופה הקריטית? אנו יודעים שאם איננו לוקחים חלק בחוויות חברתיות במהלך גיל ההתבגרות, המעגלים ב-mPFC לא יעברו מיאליניזציה, וזה ישפיע על כל חיינו, גם לאחר גיל ההתבגרות.

חוקרים הראו שאם מונעים מעכבר מעבדה צעיר את האפשרות למגע חברתי, הוא יימנע מלתקשר עם עכברים אחרים [5]. חוויות חברתיות במהלך התקופה הקריטית הזו כל כך חשובות, שאפילו אם החיה המבודדת תגור מאוחר יותר במחיצת עכברים אחרים, היא לא תחזור להתנהגות נורמלית. אם כן, ברגע שחלון ההזדמנויות נסגר, אם היה מחסור בחוויות חברתיות הולמות, ההתנהגות החברתית משתנה לעד.

התופעה המעניינת של גף הפנטום ופולסטיות בלתי מסתגלת

השלכותיהן השליליות של מלחמות ומחלות עשויות להתבטא, בין השאר, בקטיעת גפיים. קטיעה היא מצב עצוב, שיכול להיות גם מפחיד. חלק מהאנשים בעלי גפיים קטועים חווים את התחושה הפיזית שהחלק הקטוע עדיין קיים. חוויית הרפאים הזו היא חלק ממצב שנקרא **תסמין גף הפנטום**, שמתבטא בתחושות של כאב, תנועה ותחושות אחרות שמגיעות מהגף הקטוע [6]. דמיינו כמה זה עלול להיות מפחיד!

אף על פי שתסמין גף הפנטום ידוע מאז המאה ה-16, רק בשנות ה-90 של המאה הקודמת הוא שויך לניורופלסטיות – לצורה בלתי מסתגלת (או מזיקה) שלה.

האזור במוח שנקרא קליפת המוח הסומטו-סנסורית (SSC - somatosensory cortex), אחראי על פירוש העולם דרך חוש המישוש. “האם המשטח הזה חלק?”, ו“האם הרצפה קרה?” הן שאלות שנענות על ידי ה-SSC. ה-SSC גם אחראי על משהו שנקרא פרופרוסופציה. לפני שנסביר מה משמעות המילה הזו, ערכו את הניסוי הבא: עצמו את עיניכם ונסו לגעת בקצה אפכם באמצעות האצבע המורה שלכם. האם הצלחתם? אם כן, עליכם להיות נפעמים מכוח-העל שלכם: הצלחתם לעשות זאת בלי לראות את התנועה! זוהי פרופרוסופציה – אנו יודעים את מיקום גופנו וחלקיו, אפילו כשעינינו סגורות.

תסמין גף הפנטום (Phantom Limb Syndrome)

מצב שבו קטועי איברים עדיין מרגישים תחושות מהגף או האיבר החסרים. לעיתים זו יכולה להיות תחושה כאבת.

אם כן, מה מתרחש כשאדם מאבד גף על ידי קטיעה? האם האזור ב-SSC שאחראי על אותו הגף מפסיק לתפקד? בדרך כלל, אותו אזור במוח רק מאט את תפקודו, אולם לעיתים דברים משתבשים, ואזור המוח שאחראי על הגף החסר נעשה היפראקטיבי. כיצד הוא יכול להיות היפראקטיבי אם הגף חסר?

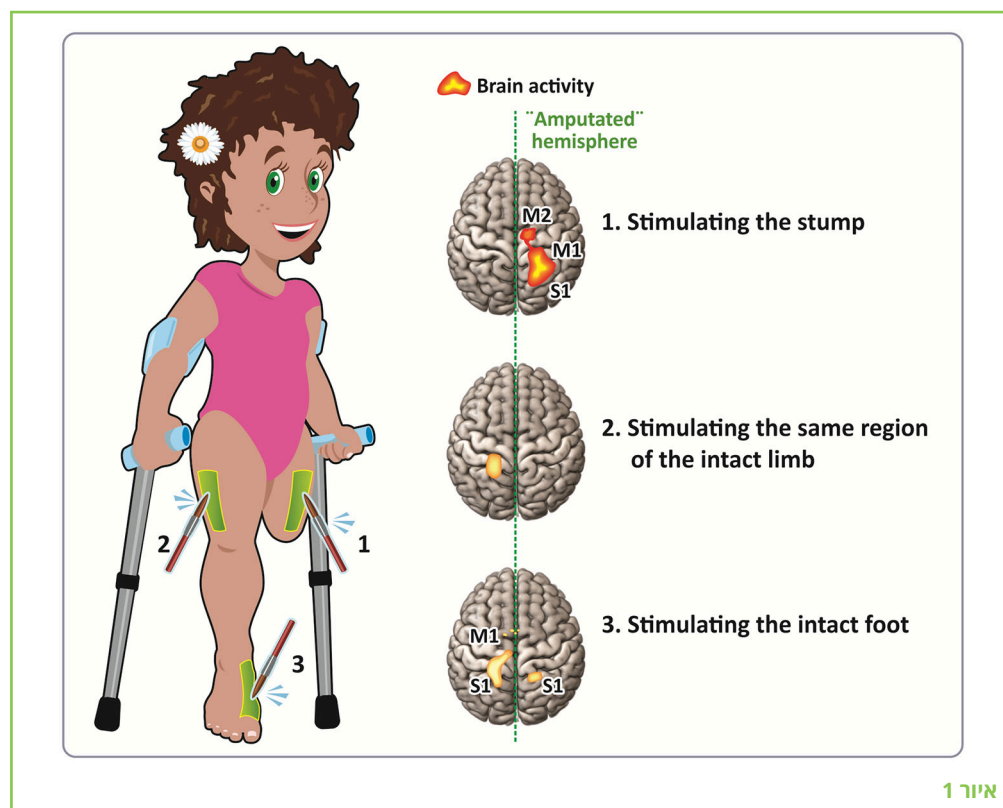
במקרים של קטיעת רגליים, ניורופלסטיות מאפשרת לאזורים שכנים ב-SSC, כמו למשל לאזור שאחראי על הירך, לקחת שליטה על אזור הרגל החסרה. הסבר אפשרי אחד הוא שהניורונים הפעילים באזור הירך "מגלים" שאזור שכן ברגל אינו פעיל, והם שולחים חלק מהסיבים שלהם להתחבר לניורונים הבלתי פעילים. (איור 1) הוא דוגמה למחקר שנערך במעבדה שלנו עם קטועי איברים. מצאנו שלא רק שהייצוג של אזורים בגפיים הנוכחים והחסרים השתנה, אלא גם שהמיאלינציה של חלק מאזורי המוח פחתה.

אמרנו שניורונים מהירך נעים לקראת ניורונים באזור הרגל החסרה ומתחברים אליהם - כיצד הניורופלסטיות הזו יכולה להיות מתורגמת לתחושת פנטום? דמיינו שאתם יכולים להרגיש כל קיפול של בגדיכם שנוגע בגפיים שלכם, אולם אפילו כשאתם לובשים בגד ים, אתם עדיין יכולים להרגיש שהגפיים שלכם שם, פשוט על ידי הזזה שלהם. משמעות הדבר היא שאזור הגפיים במוחכם פעיל כל הזמן. במקרה של קטיעה, כאשר הניורונים מהירך ומהרגל התחתונה מתחברים, שניהם פעילים כשמשוהו מגרה את עור הירך. לכן, מגע בירך יוצר תחושה של מגע ברגל החסרה. תחושת הפרופריוספציה בירך, שנגרמת על ידי תנועה, יוצרת גם תחושת פרופריוספציה ברגל החסרה.

איור 1

בחינת ניורופלסטיות אצל קטועת רגל.

הילדה שאיבדה את רגלה גורתה בעדינות באמצעות מברשת בשלושה מקומות: (1) בנָדָם; (2) באותו האזור ברגל השנייה; ו-(3) בכף הרגל של הרגל השנייה. הכתמים הבהירים בתמונות המוח מצביעים על האזורים שהיו הכי פעילים כאשר המברשת נגעה בעורה. ב-(1), אתם יכולים לראות שגירוי הגדם גורם ליותר פעילות מאשר כשהמברשת נוגעת בירך של הרגל הנוכחת (2). נוסף על כך נראה שגירוי של הגדם מפעיל אזורים דומים כמו כשמגרים את כף הרגל (3), אולם האזורים קטנים יותר. שימו לב שהחלקים השמאליים של הגוף מיוצגים בחלק הימני של המוח, ולהפך. S1 - אזור סומטו-סנסורי; M1 - אזור מוטורי; ו-M2 - אזור מוטורי נספח. האיור על ידי Julio Xerfan



איור 1

במילים אחרות, המוח (או לפחות ה-SSC) לא מבין את החוויה החושית, ומאמין שהגף החסר עדיין נמצא.

מסקנות

דנו בשני מקרים של ניורופלסטיות: אחד חיובי והשני מזיק. למדנו שבשנות חייו המוקדמות, ישנו חלון זמן שבמהלכו הניורופלסטיות וההתפתחות של חלק מאזורי המוח חשובות מאוד. מקרה אחד כזה הוא מיאלינציה של ה-mPFC, שתלויה מאוד בחוויות החברתיות שלנו. כדוגמה לניורופלסטיות מזיקה, למדנו שבמקרה של קטיעה, המוח עלול שלא להבין כי הגף איננו. משמעות הדבר היא שאזורים במוח שהיו אחראים על פירוש אותות שמגיעים מאותו הגף (לדוגמה, תחושת מגע) ימשיכו להיות פעילים, מה שיוביל לתסמין גף הפנטום. לסיכום, שתי הדוגמאות האלה ממחישות שהמוח לא סטטי, והוא כל הזמן מגיב לאתגרים. כל פיסת מידע שאנו לומדים, או כל אדם שאנו פוגשים, יכולים להוביל להשפעות מתמשכות על המוח ועל חייו.

תודות

אנו מודים לקולגה שלנו, Theo Marins, על התמונות של מוח האדם האמיתי באיור.

מקורות

1. Goh, J. O., and Park, D. C. 2009. Neuroplasticity and cognitive aging: the scaffolding theory of aging and cognition. *Restor. Neurol. Neurosci.* 27:391–403. doi: 10.3233/RNN-2009-0493
2. Gutches, A. 2014. Plasticity of the aging brain: new directions in cognitive neuroscience. *Science* 346:579–82. doi: 10.1126/science.1254604
3. Brown, A., and Weaver, L. C. 2012. The dark side of neuroplasticity. *Exp. Neurol.* 235:133–41. doi: 10.1016/j.expneurol.2011.11.004
4. Fuhrmann, D., Knoll, L. J., and Blakemore, S. J. 2015. Adolescence as a sensitive period of brain development. *Trends Cogn. Sci.* 19:558–66. doi: 10.1016/j.tics.2015.07.008
5. Makinodan, M., Rosen, K. M., Ito, S., and Corfas, G. 2012. A critical period for social experience-dependent oligodendrocyte maturation and myelination. *Science* 337:1357–60. doi: 10.1126/science.1220845
6. Simões, E. L., Bramati, I., Rodrigues, E., Franzoi, A., Moll, J., Lent, R., et al. 2012. Functional expansion of sensorimotor representation and structural reorganization of callosal connections in lower limb amputees. *J. Neurosci.* 32:3211–20. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4592-11.2012

פורסם אונליין: 29 בספטמבר 2022

נערך על ידי: Lauren Jantzie

מנחה מדעי: Jessie Claire Newville

ציטוט: Guimarães DM, Valério-Gomes B and Lent R (2022) Neuroplasticity: The Brain Changes Over Time! Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2020.522413-he הזמן עם

תורגם והותאם: Guimarães DM, Valério-Gomes B and Lent R (2020) Neuroplasticity: The Brain Changes Over Time! Front. Young Minds 8:522413. doi: 10.3389/frym.2020.522413

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

COPYRIGHT © 2020 © Guimarães, Valério-Gomes and Lent 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 (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.

סוקרות צעירות

ASHLEY, גיל: 12

היי, אני Ashley! אני אוהבת לרקוד פלמנקו כל יום מאחר שזה כיף וזוהי פעילות גופנית נהדרת. פלמנקו ומשחק הם השיעורים האהובים עליי השנה. אני הולכת לבית ספר שמתמקד לא רק בשיעורים רגילים, אלא גם באומנויות הבמה. בזמני הפנוי, אני אוהבת לספר בדיחות ולשחק במשחקי קלפים עם משפחתי.

SAMANTHA, גיל: 15

היי, קוראים לי Samantha! אני אוהבת לקרוא ולכתוב, ועובדת עכשיו על כתיבת סיפור ארוך. השיעורים האהובים עליי הם כימיה ואנגלית. בזמני הפנוי, אני נהנית לתהות לגבי תעלומות היקום, לבהות בחלל ולכתוב סיפורים.

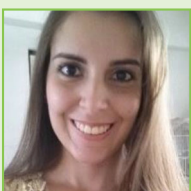
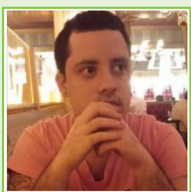
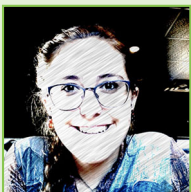
הכותבים

DANIEL MENEZES GUIMARÃES

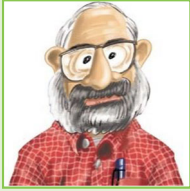
אני פוסט-דוקטורנט ברזילאי, שעובד כיום בקנדה. עוסק בתחום של מדעי המוח כבר יותר מחמש שנים. מאז שנות הנעורים שלי, הייתי מרותק מהמוח ומפועלו. כשנכנסתי לבית ספר לתארים מתקדמים, הקדשתי את עצמי להבנת האופן שבו המוח מפרש את העולם החברתי. המחקר שלי מתמקד בהתנהגות החברתית של חיות בבידוד חברתי (אחת הדוגמאות במאמר הזה). חוץ ממדע, אני מוזיקאי שמנגן על גיטרה חשמלית, ואני גם כותב שירה. *danielmgui@gmail.com

BRUNA VALÉRIO-GOMES

אני פוסט-דוקטורנטית בברזיל. העניין העיקרי שלי הוא בהבנת הבסיס הניורוני של מחלות, וכיצד התנהגות של בני אדם מושפעת מהן. התמקדתי בחקירת תא במוח שנקרא אוליגודנדרוציט, בתפקוד שלו וכיצד הוא



מתקשר עם תאים אחרים בתנאי מחלה. אני רוצה להגדיל את הבנתי לגבי מחלות פסיכיאטריות באמצעות חקירה לא רק של הבסיס הנוירונלי שלהן, אלא גם של ההיבטים החברתיים והפסיכולוגיים שלהן. כמו כן אני מתעניינת באסתטיקה, באופנה ובמשחקים.



ROBERTO LENT

אני פרופסור למדעי המוח באוניברסיטה הפדרלית של ריו דה ז'נרו, וראש המעבדה שבה Daniel ו-Bruna עשו את עבודת המחקר שלהם. הנחיתי את עבודתם, אבל אהבתי את המקומות שבהם הם לא לגמרי עקבו אחרי הוראותי, מאחר שבחירותיהם התבררו בדרך כלל כטובות יותר מהצעותיי.

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