



ריפוי השן: התקדמויות חשובות בתיקון שיניים

Gunpreet Oberoi^{1,2,3}, Klara Janjić^{1,2}, Hermann Agis^{1,2*}

¹המחלקה לרפואת שיניים משמרת ולרפואת חניכיים, הקליניקה האוניברסיטאית לרפואת שיניים, האוניברסיטה הרפואית של וינה, אוסטריה

²הצ'ביר האוסטרי לבנייה מחדש של רקמות, וינה, אוסטריה

³המרכז לפזיקה רפואית ולהנדסה ביו-רפואית, האוניברסיטה הרפואית של וינה, וינה, אוסטריה

סוקרים צעירים

ANJISHNU
גיל: 12



MARCOS
גיל: 9



MEHRANEH
גיל: 11



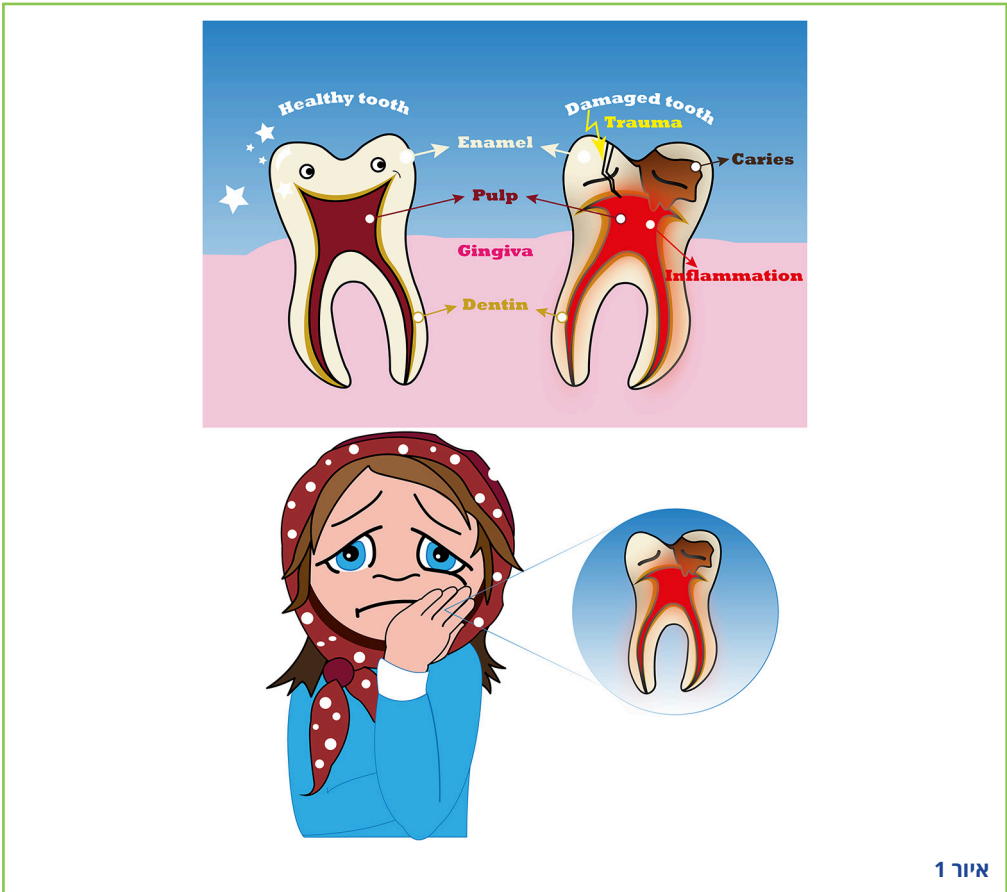
שיניים מכילות רקמה חיה שנקראת מוך השן, שסגורה בתוך מעטפת חיצונית קשה הבנויה מאמיל ומשיין (דנטין). מוך השן שומר על השיניים חיות על-ידי סיפוק חמצן, חומרי מזון ועצבים לתוך כל שן. עששת ופגיעה בשן יכולות להרוס את השכבה של השן, ואז הפגיעה היא עמוקה, ועלולה להזיק למוך השן. זיהום ודלקת במוך השן יכולים להוביל למוות של השן. באמצעות שיטה שנקראת בנייה מחדש של מוך השן, מדענים מנסים להחזיר לחיים שיניים שמתו. בעתיד הקרוב, ייתכן שנוכל לבנות מחדש שיניים במגוון צורות וגדלים, ואפילו להצליח ליצור שיניים חדשות שדומות לשיניים החסרות.

ממה מורכבת השן ומה קורה כשהיא ניזוקה?

דמיינו פרי עם שכבה חיצונית קשה, שמכסה שכבה פנימית רכה. המבנה של השן הוא דומה, כשהשכבה החיצונית הקשה והלבנה בנויה מחומרים שנקראים אמיל ודנטין, והשכבה הפנימית הרכה והאדומה היא מוך השן (איור 1). החלק הלבן של השן, שהוא בלתי נראה בתוך הפה מעל לחניכיים, נקרא כתר. החלק של השן שמחזיק אותה בתוך העצם נקרא שורש. גם הכתר וגם השורש מכילים מוך במרכזם. מוך השן עשיר בכלי דם ועצבים, שמספקים

איור 1

שן בריאה (משמאל) ושן שניזוקה מעששת או מטראומה (מימין). תסמינים של דלקת השן, שהיא זיהום של מוך השן, כוללים כאב ונפיחות. זו הסיבה לכך שטיפולי בנייה מחדש נדרשים כדי לסייע למטופלים כשהשן מתה. באמצעות גישות חדשות ומבטיחות לבנייה מחדש של מוך השן, ניתן לקבל שן חדשה ומלאת חיים, ולהחליף את השן שניזוקה או אבדה.



איור 1

חמצן וחומרי מזון לשן, ושומרים עליה חיה או "ויטאלית". נוסף על כך הפה שלנו מהווה בית למיליוני חיידקים. חלק מהחיידקים האלה מגינים על הגוף, בעוד שאחרים אוכלים את הסוכרים שנמצאים בפה וממירים אותם לחומצה. החומצה הזו מזיקה לשן וגורם לעששת. אמייל ודנטין הם המחסומים הראשונים כנגד חיידקים, זיהומים וטראומות אחרות לשן, והם מגינים על מוך השן.

כשפגיעה או זיהום חוצים את המחסום הראשוני של דנטין ואמייל, מוך השן מפעיל את תאי התיקון שלו, שנקראים תאי גזע. תאי גזע נלחמים כנגד זיהום בסיועם של תאי מערכת החיסון, והם מתקנים את החלקים הפגועים של השן באמצעות **בנייה מחדש** של הדנטין ושל העצם. במהלך הבנייה מחדש, כלי דם במוך השן מתרחבים. מוך השן מתחיל לשלוח אותות שיכולים להיחוות ככאב או רגישות לטמפרטורות חמות או קרות. נוסף על כך האמייל עשוי להפוך למעט ורוד. התהליך הזה של התרחבות וכאב נקרא זיהום של מוך השן (או באנגלית pulpitis; איור 1). הזיהום/ פגיעה האלה אינם נשלטים בשלב הזה, ומוך השן יכול להתרחב עד שכבר אין לו מקום בתוך המעטפת החיצונית הקשה, והוא עלול למות ולהשאיר את השן בצבע אפור-כחול. זה נקרא נמק במוך השן. בפגיעות חמורות יותר, הנזק והזיהום עלולים לחדור דרך השורש ולהתפשט אל העצם שסביב.

גיל האדם בעת הפגיעה לשן הוא גורם חשוב בהחלטה על אפשרויות הטיפול. במקרה של מבוגרים צעירים, השימור הזהיר של מוך שן חיוני הוא קריטי עבור השלמת עיצוב שורש השן, שמובילה לשן בריאה. הטיפול במקרה הזה נקרא **טיפול ויטאלי במוך השן**, מאחר

בנייה מחדש (Regeneration)

תהליך של החלמה מוחלטת אחרי פגיעה.

טיפול ויטאלי במוך השן (Vital Pulp Therapy)

טיפול שמטרתו לשמר ולתחזק את רקמת מוך השן שנפגעה אולם לא נהרסה לחלוטין, ולהחזיר אותה חזרה למצב בריא.

טיפול לא ויטאלי במוך השן (Non-vital Pulp Therapy)

טיפול שמערב הסרה מוחלטת של המוך, ומילוי התעלה בחומר מתאים כדי לשמר את השן במצב לא מזוהם.

שנשאר מוך חיוני. אצל מבוגרים, השורש כבר מעוצב כך שמוך השן המזוהם יכול להיות מוחלף באמצעות חומר שסותם את השן מזיהום נוסף ומחזק אותה. הטיפול הזה נקרא **טיפול לא ויטאלי במוך השן**, מאחר שמוך השן מוסר.

כיצד רופאי שיניים מטפלים בשיניים שניזוקו, ומחליפים אותן?

במהלך העשור האחרון התרחשה התקדמות מהירה בתחום של טיפולי מוך השן שמטרתם לרפא שיניים שניזוקו [1]. כפי שציינו קודם, אפשרויות טיפול זמינות לשימור המוך נקראות טיפולים ויטאליים או לא ויטאליים במוך השן. טיפול ויטאלי במוך השן דומה לשימת פלסטר שמכיל תרופות על מוך השן החי. מטרת הטיפול הוויטאלי במוך השן היא לשמר את רקמת המוך ולשמור עליה בריאה, במיוחד אצל מבוגרים צעירים שהשיניים שלהם הושפעו על-ידי עששת או טראומה. טיפולים ויטאליים במוך השן מבוססים על יכולתו של המוך לבנות את עצמו מחדש, כאשר אין נוכחות של דלקת [2]. בדרך כלל, תרופות שמבוססות על סידן משמשות לטיפול במוך בכתר השן ולהחזיר את החיוניות שלו. אחרי הבראת המוך, האמייל והדנטין שניזוקו מוחלפים באמצעות חומרים שצבועים בצבעי השן ונקראים קומפוזיטים, או חומרי מילוי מתכתיים כהים שמכילים כסף.

טיפול לא ויטאלי במוך השן, שנקרא גם טיפול בתעלת שורש השן, מתייחס להסרה וניקוי של המוך המת המזוהם מכתר ומשורש השן. בתעלת השורש, המוך שניזוק מוחלף על-ידי חומר מתאים כדי לספק חוזק לשן. הטיפול הזה, דרך ניקוי והסרת הזיהום בתעלות השורש, מבוצע באמצעות כמה כימיקלים וכלי ניקוי. התעלה הנקייה שנוצרת בשורש השן ממולאת בחומר דמוי גומי שנקרא גוטפרשה (gutta-percha), שמחזק את השורשים כשהוא מתקשה. לבסוף, כתר השן שניזוקה מוחלף על-ידי כתר קרמי מלאכותי. עבור זיהומים שהגיעו לעצם, ניתוחים מבוצעים בזהירות באמצעות קידוח חור בעצם, הסרת החלק המזוהם בשורש השן ובעצם שסובבת אותו, ניקוי האזור וכיסוי האזור שניזוק עם תרופות שמבוססות על סידן, עבור החלמה. התהליך הזה נקרא כריתת חוד השורש. הסייג העיקרי מטיפולים לא ויטאליים במוך השן הוא שמאחר שלא נותר מוך בשן, השן מאבדת את יכולתה לתקן ולבנות את עצמה מחדש. זה גורם לשורשים להיות פגיעים יותר ומועדים להיסדקות, מה שיכול לגרום לדליפה של הכימיקלים משורש השן החוצה לתוך העצם, מה שעלול לגרום לנזק גדול יותר למבנה השן [3].

כיצד המדע משפר שיטות לריפוי שיניים פגועות?

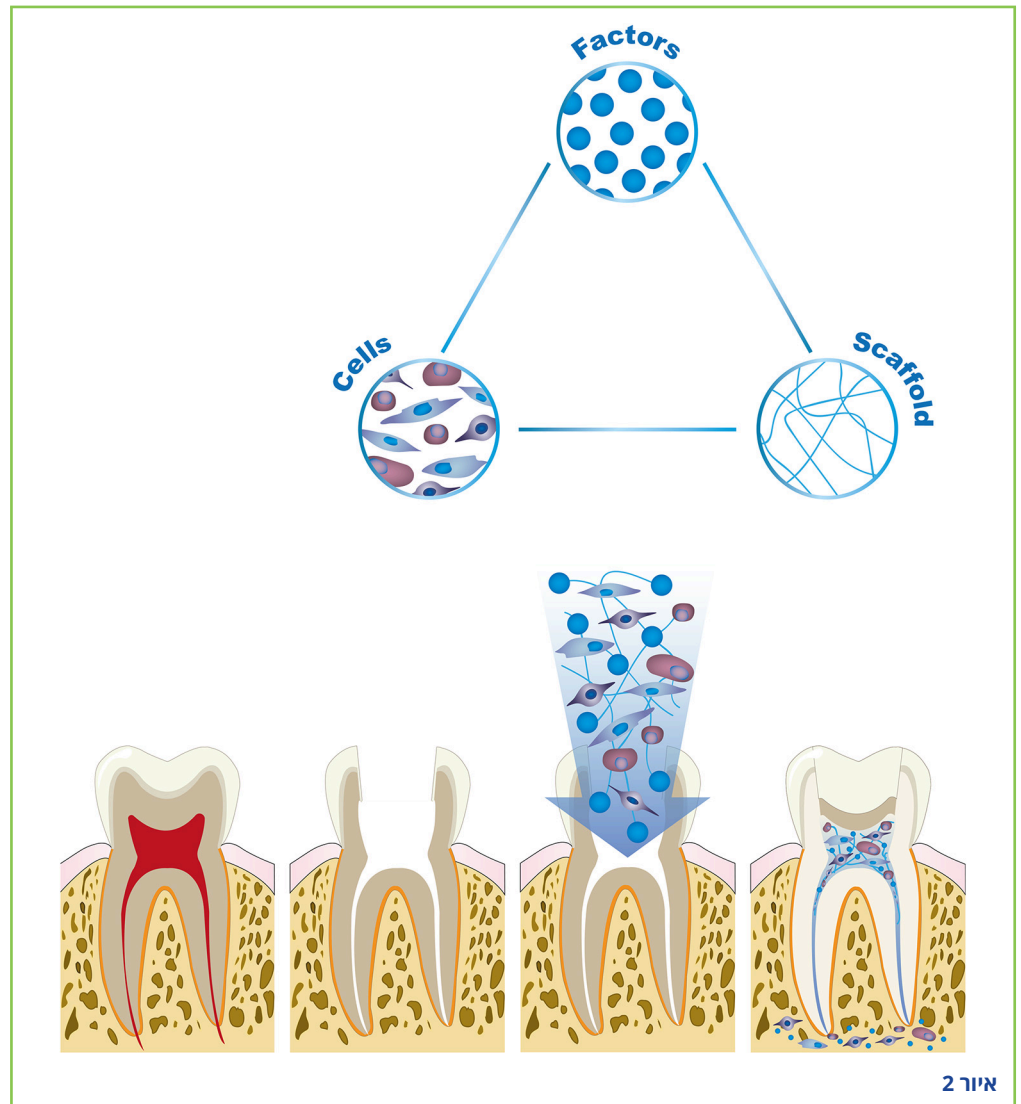
בניגוד לטיפול לא ויטאלי במוך השן, שמערב הסרה של המוך המזוהם, ישנם טיפולים ניסיוניים חדשים שמתמקדים בהחזרת מוך השן הוויטאלי שאבד חזרה אל השן, כולל אספקת הדם והעצבים שלו. הגישה החדשה הזו נקראת **אנדודנטיה**, והיא מכילה שלושה חלקים בסיסיים: (1) תאי גזע כדי לגדל מחדש את המוך החסר; (2) פיגום או מטריצה שעל גביהם מגדלים תאים חדשים; ו-(3) מולקולות להגברת הגדילה וההיווצרות של המוך החדש, שנקראות גורמי גדילה ואיתות [4] (איור 2). באמצעות שילוב שלושת הכלים הבסיסיים האלה, המוך יכול להיבנות מחדש והחיוניות של השן יכולה להישמר. כיום, הטיפולים האלה מבוצעים בעיקר במעבדות. אולם ככל שההתקדמות המדעית ממשיכה, טיפולים חדשים יוכלו להיבחן על מטופלים בקליניקות של שיניים בעתיד. במעבדות, מדענים משתמשים במגוון תאים מחיות ומבני אדם כדי לבחון את החומרים החדשים ואת רמת הבטיחות שלהם. הממצאים מהבחינות

אנדודנטיה (Endodontics)

ביוניתי, אנדו משמעותו "בתוך" ו-"אודונט" משמעותו "שן". זו המומחיות ברפואת שיניים שמתייחסת למחקר ולטיפול במוך השן.

איור 2

בנייה מחדש של השן ומוך השן מבוססת על מחקר בהנדסת רקמות, שמטרתו לבנות מחדש חלקי גוף ואיברים. "אבני הבניין" של בנייה מחדש של שיניים ושל מוך השן הם תאי גזע, חומרים (או גורמים) שמגבירים את גדילתו של מוך חדש ופיגום או מטריצה לגידול חומרים חדשים על גביהם. בעתיד, האסטרטגיות האלה יסייעו לבנות מחדש את מוך השן בשיניים שמתו.



איור 2

האלה משמשים לפיתוח מודלים שדומים מאוד בתפקוד ובצורה לשן ולמוך השן האנושיים. מודלים כאלה נקראים מודלים תלת-ממדיים של רקמות [5]. ההשפעה של תרופות שונות, חומרים משמשים ברפואת שיניים והליכים טיפוליים יכולה להיבדק על המודלים האלה לפני שטיפולים חדשים נבחנים על חיות או על בני אדם.

חלק מהמחקרים מראים שרקמת מוך השן יכולה לגדול מחדש אפילו ללא פיגום או מטריצה [4]. ייתכן גם שמחקר חדש בסופו של דבר יאפשר בנייה מחדש לא רק של מוך השן, אלא גם של השכבה החיצונית הקשה של השן! כשהשיטה הזו תהיה מוכנה להיבחן על מטופלים, היא תהיה התקדמות משמעותית באסטרטגיות הטיפולים הנוכחיות.

חדשות טובות לשיניים פגועות!

עם גישות מבטיחות שכאלה לבנייה מחדש של מוך השן, אפשר יהיה לספק למטופלים שיניים חדשות וחיוניות שיחליפו את השן שניזוקה או אבדה. השן החדשה הזו תוכל לבצע את כל

התפקודים של שן חיונית. באמצעות התקדמויות באנדודונטיה של בנייה מחדש ובאמצעות הדפסה תלת-ממדית, נוכל לייצר שיניים במגוון צורות וגדלים שיוכלו להיות שכפולים של השיניים החסרות!

תרומת הכותבים

GO, KJ ו-HA היו מעורבים בעיצוב, במחקר הספרות, בכתיבה ובהגשת כתב היד.

מקורות

1. Athanasiadou, E., Paschalidou, M., Theocharidou, A., Kontoudakis, N., Arapostathis, K., and Bakopoulou, A. 2018. Biological interactions of a calcium silicate based cement (Biodentine™) with stem cells from human exfoliated deciduous teeth. *Dent. Mater.* 34:1797–813. doi: 10.1016/j.dental.2018.09.014
2. Dhar, V., Marghalani, A. A., Crystal, Y. O., Kumar, A., Ritwik, P., Tulunoglu, O., et al. 2017. Use of vital pulp therapies in primary teeth with deep caries lesions. *Pediatr. Dent.* 39:146–59.
3. Asgary, S., Fazlyab, M., and Nosrat, A. 2016. Regenerative endodontic treatment versus apical plug in immature teeth: three-year follow-up. *J. Clin. Pediatr. Dent.* 40:356–60. doi: 10.17796/1053-4628-40.5.356
4. Janjić, K., Cviki, B., Moritz, A., and Agis, H. 2016. Dental pulp regeneration. *Int. J. Stomatol. Occl. Med.* 8:1–9. doi: 10.1007/s12548-015-0139-1
5. Itoh, Y., Sasaki, J. I., Hashimoto, M., Katata, C., Hayashi, M., and Imazato, S. 2018. Pulp regeneration by 3-dimensional dental pulp stem cell constructs. *J. Dent. Res.* 97:1137–43. doi: 10.1177/0022034518772260

פורסם אונליין: 09 בנובמבר 2021

נערך על ידי: Caroline Helen Brennan, Queen Mary University of London, United Kingdom

ציטוט: Oberoi G, Janjić K and Agis H (2021) ריפוי השן: התקדמויות חשובות בתיקון שיניים. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2019.00108-he

תורגם והוטאם: Oberoi G, Janjić K and Agis H (2019) Healing the Tooth: Important Advances in Tooth Repair. *Front. Young Minds* 7:108. doi: 10.3389/frym.2019.00108

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

Copyright © 2019 © Oberoi, Janjić and Agis 2021. 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

ANJISHNU, גיל: 12

היי, קוראים לי Anjishnu ואני בכיתה ו'. אני גר בסן דייגו, ויש לי תשוקה לכתיבה, לקריאה, למתמטיקה ולמדע. אני גם אוהב לקרוא על מכוניות ועל רכבים אחרים. אני נהנה לשחק טניס ולנגן על גיטרה. אני רוצה להיות מהנדס אווירונאוטיקה כשאגדל, ואני רוצה לעצב מטוסים שיהפכו את הטיסות להיות בטוחות יותר.

MARCOS, גיל: 9

Marcos הוא תלמיד בכיתה ד שאוהב לקרוא ספרי חיות וללכת בטבע. הוא טוב מאוד במדעים. הוא נהנה מאוד להסתכל על השמיים דרך הטלסקופ שלו בלילות הקיץ החמים, ואז לישון בחוץ בשטח פתוח עם ההורים שלו. הוא מעריץ את אחותו הקטנה, ואוהב מאוד לשחק איתה משחקים. יש לו מוטיבציה גבוהה והוא מתלהב מאוד מדברים.

MEHRANEH, גיל: 11

היי, אני Mehraneh (קצת קשה לבטא את זה). אני אוהבת לאפות, לקרוא, לעשות קניות ולרכוב על אופניים. אני גם אוהבת מאוד לצייר, ואני מלמדת את עצמי באמצעות סרטוני יוטיוב. אימא שלי היא עורכת. אז, באופן מפליא, מצאנו את האתר הזה! וכעת יש לי הזדמנות לעבוד עם אימא. ייאי לי (וגם לאימא)! אני אוהבת את עבודת העריכה הזו אפילו יותר ממה שחשבתי! זה כל כך מגניב, כיף ומאתגר. אני לומדת כאן כל כך הרבה דברים חדשים!

הכותבים

GUNPREET OBEROI

Gunpreet Oberoi היא מומחית להשתלות דנטליות, שכיום לומדת לקראת דוקטורט ועובדת כעוזרת מחקר באוניברסיטה הרפואית של וינה. עבודת המחקר שלה מתבססת על הנדסת רקמות, הנדסה ביו-רפואית והדפסה תלת-ממדית. באמצעות הכישורים המגוונים שלה ותרומתה למחקר, היא מקווה להפוך את הרפואה הציבורית הסטנדרטית נגישה לכולם בקהילה.

KLARA JANJIĆ

Klara Janjić היא מדענית ביו-רפואה, שכיום עובדת עם פרויקט הדוקטורט שלה בקליניקה האוניברסיטאית לרפואת שיניים, באוניברסיטה הרפואית של וינה, אוסטריה. המטרה העיקרית של פרויקט הדוקטורט שלה היא לחקור ולפתח מודלים שונים של תאים ומיקרו-רקמות שבנויים מתאי פה אנושי, ולמצוא כיצד אפשר להשתמש בהם למחקר בסיסי, כמו גם לבחינת חומרים ומצעים. Klara גם מסייעת במטלות שונות במרכז פלורנזיק לרפואה בווינה, שהוא המוסד העתיק ביותר לרפואה משפטית בעולם.

HERMANN AGIS

Hermann Agis (<http://orcid.org/0000-0001-9509-1555>), ביוטכנולוג בהכשרתו, הוא פרופסור בקליניקה האוניברסיטאית לרפואת שיניים, האוניברסיטה הרפואית של וינה באוסטריה, וראש המרכז ליכולות



הנדסת רקמות וטיפולים מבוססי תאים. בהשראת רפואת שיניים, הוא מתמקד במחקרו על בנייה מחדש של רקמות הפה. הוא מיישם שיטות מולקולריות ותאיות כדי להעריך את המנגנונים של בנייה מחדש, ואת החומרים והכימיקלים השונים שעשויים לסייע בבנייה מחדש. מאז תחילת הקריירה שלו, Hermann תמך במדענים צעירים במקצוע שלהם. הוא מעורב פעיל בתוכניות הדרכה באקדמיית ECTS וכשגריר של I-CED. *hermann.agis@meduniwien.ac.at ADR

Hebrew version
provided by

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

