

הסד הכירורגי המנחה ככלי עזר בהשתלות שיניים

מטרת הטכנולוגיה באופן כללי היא לפתור בעיות ולענות על צרכים. תחום רפואת השיניים בכלל וההשתלות הדנטליות בפרט היה עד לפיתוחים טכנולוגיים רבים בשני העשורים האחרונים. במשך השנים, חלק מהטכנולוגיות אומצו בצורה רחבה על ידי ציבור רופאי השיניים והפכו לדרישה כחלק מסטנדרט רפואי מקובל. השימוש בסד כירורגי מנחה Surgical guide בביצוע השתלות שיניים הפך לפופולרי יותר בשנים האחרונות, והשימוש בו עולה משנה לשנה. מטרת הסד היא להנחות ולהדריך את הרופא לקבוע את המיקום, העומק, וזווית ההטיה של הקידוח והתקנת השתלים כדי להעניק דיוק ובטיחות משופרים ולאפשר ניתוח פשוט ומהיר שיענה באופן אידאלי לדרישות הכירורגיות והשיקומיות¹. מטרת מאמר זה היא לסקור את היתרונות של הסד המנחה ולדון באינדיקציות לשימוש בו במקביל לתיאור חסרונותיו. השאלה שעומדת בבסיס דיון זה היא האם יש להמליץ על שימוש בסד מנחה באופן שגרתי בהשתלות שיניים, או שיש לשמור אותו לאינדיקציות מסוימות ובמקרים ספציפיים.

רופא השיניים המבצע השתלות דנטליות צריך לעשות כל מאמץ כדי שהניתוח יהיה מדויק, פשוט, ובטוח. סריקת ה-CT שמבוצעת כהכנה לניתוח מדגימה את צורת רכס העצם המיועד להשתלה, נפח העצם הזמינה להתקנת שתל, והסמיכות של מבנים אנטומיים קרובים כמו העצב האלואולרי התחתון, הסינוס המקסילרי, והשיניים הסמוכות.

הרופא משקלל נתונים אלה עם צורת השיקום המתוכננת וקובע את המספר והפיזור של השתלים, והאוריינטציה האידאלית שבה השתלים יותקנו בלסת.

תכנון ממוחשב Virtual planning הוא הליך שבמהלכו הרופא עושה ניתוח וירטואלי על גבי סריקת ה-CT בעזרת תוכנת מחשב ייעודית. כך הרופא יכול לשקלל בצורה חיה את כל הגורמים שהוזכרו לעיל על גבי מסך המחשב ולהתנסות בהחדרת שתלים באופנים שונים ובמגוון צורות וגדלים. לאחר שהוא קובע על גבי ה-CT את המיקום, העומק, וההטיה האידאלי של השתלים, הוא מעביר את המידע למעבדה לצורך ייצור סד כירורגי מנחה שתפקידו, כאמור, להדריך את הרופא בעת הקידוח והתקנת השתלים כך שאלה יתבצעו בדיוק לפי התכנון הווירטואלי².

נוסף על סריקת CT ותוכנת מחשב ייעודית לביצוע התכנון הממוחשב, נדרשת יכולת ייצור מעבדתית לבניית הסד פיזית. רוב הרופאים כיום מסתמכים על שירותי מעבדות שיניים לייצור הסד, אך חלק קטן מהמרפאות רוכשות מדפסות תלת ממד וטכנולוגיות מעבדתיות נוספות לצורך ייצור הסד במרפאה. מרפאות שיש בהן מכשיר CT, סורק אינטרה אורלי, תוכנת מחשב לביצוע הניתוח הווירטואלי, ומדפסת תלת ממד יש להן בעצם עצמאות מוחלטת בכל תהליך התכנון והייצור של הסד המנחה ועד לביצוע הניתוח במרפאה^{3,4}.

ד"ר וסים עבוד **
פרופ' שלמה טייכר ***
ד"ר עאטף עבוד ****
ד"ר דרור שמיר **
ד"ר רן יהלום ***

* המכון להפרעות תנועה, מרכז רפואי שיבא תל השומר, מסונף לפקולטה לרפואה ע"ש סאקלר באוניברסיטת תל אביב
** היחידה לכירורגיה פה ולסתות, מרכז רפואי בני ציון בחיפה, מסונף לפקולטה לרפואה בטכניון בחיפה
*** המחלקה לכירורגיה פה ולסתות, מרכז רפואי שיבא תל השומר, מסונף לפקולטה לרפואה באוניברסיטת תל אביב
**** מרפאה פרטית, שפרעם

5. מאפשר ביצוע השתלה בסמיכות למבנים אנטומיים קריטיים: במקרי קיצון שבהם העצם הזמינה להשתלה היא מוגבלת והתקרבות למבנים אנטומיים כמו תעלת העצב והסינוס המקסילרי היא בלתי נמנעת, כל הטיה או סטייה ולו הקטנה ביותר מהמתוכנן עלולה להיות הרסנית. במקרים כאלה הסד מספק מימד של ביטחון שלפיו הקידוח והתקנת השתל נעשים בדיוק לפי מה שתוכנן על צג המחשב⁵.

6. קובע את מיקום ההשתלה האידיאלי במקרים של עקירות והשתלות מיידיות: המכת שיות הריקות במקרים של עקירות והשתלות מיידיות מקשות על המנתח לקבע את נקודת הקידוח האידיאלית. הסד הכירורגי מתגבר על האירגוליות של פני שטח רכס העצם ומעגן למשל את הקידוח בתוך עצם הפורקציה ולא במכתשית של אחד השורשים⁶.

7. מקל את בניית השיקום במקרים של השתלות והעמסות מיידיות: התהליך הממוחשב יכול להתחיל מהסוף ולתכנן את בניית הגשר המידי ורק אחרי זה ולפי זה להמשיך ולקבוע את מיקום השתלים ברכס העצם – Reverse engineering. עמדת החלקים השיקומיים היא קריטית ביותר כאשר מתוכננות העמסות מיידיות ואם הטיית השתלים מתחשבת רק בעצם הרכס ולא רואה את השיקום המידי שהוכן מראש, הדבר יקשה על התקנת השיקום על גבי השתלים. אפשר כמובן להתגבר על זה על ידי שימוש במולטי-יוניטים בעלי זוויות שונות אך תהליך זה פחות צפוי ודורש זמן רב יותר והתוצאות פחות מדויקות מאשר תהליך ממוחשב שכאמור יכול להתחיל מהסוף¹.

8. מאפשר יישום כירורגיה זעיר פולשנית: במקרים שהסד נתמך על ידי שיניים ומיקומו בזמן הניתוח הוא חד-משמעי, לרוב לא נדרשת חשיפה נרחבת של עצם הלסת ואין צורך בהערכה ישירה של צורת הרכס בזמן הניתוח. הסד מאפשר ביצוע ניתוח עם הרמת מתלה חניכיים מינימלי ואף ללא הרמת מתלה^{flapless}⁶.

השאלה שעומדת מאחורי מאמר זה היא האם שימוש שגרתי בסד הכירורגי המנחה משפר את התוצאים של ניתוח ההשתלות מבחינת דיוק ובטיחות, או שמא יש בזה שימוש יתר שעלול לחשוף חסרונות הטמונים בשיטה ויאלץ את הרופא להתמודד איתם. האם רופא השיניים שמשתמש בסד מנחה באופן שגרתי בניתוחי השתלות שיניים מקטין את הסיבוכים ומגדיל את הדיוק, או שמא עלול לחשוף את המטופל לסיבוכים חדשים שבאים יחד עם השיטה מכיוון שאין כלי טיפולי שהוא חף מטעויות וחסרונות. בשביל לענות על שאלה זו, יש לסקור באופן שיטתי את היתרונות והחסרונות של הסד הכירורגי:

יתרונות:

1. מאפשר למקם את השתל בהטיה אידיאלית בתוך רכס העצם: בזמן התכנון הממוחשב (הניתוח הווירטואלי) המנתח בוחר את זווית ההחדרה של השתל לתוך הרכס לפי עובי הרכס וצורתו, לפי ההטיה המתוכננת של השתלים בלסת הנגדית, ובהתחשב בסוג השיקום המתוכנן. הצורך להפעיל שיקול דעת קליני בזמן הניתוח קטן¹.

2. מאפשר למקם שתלים באנגולציות לא שגרתיות כדי להימנע מביצוע ניתוח הרמת סינוס או השתלת עצם אחרת. הסד מאפשר לתכנן שתלים בזוויות קשות שיכולות לנצל את העצם הזמינה ברכס באופן מקסימלי².

3. מגביל את עומק חדירת השתל לפי גובה רכס העצם: דבר זה מאפשר ניצול מלא של אורך העבודה תוך הימנעות מחדירה למבנים אנטומיים קריטיים כמו למשל תעלת העצב האלואולרי בלסת התחתונה⁵.

4. משיג מקבילות מקסימלית בין כלל השתלים המותקנים בלסת: התכנון הממוחשב מאפשר לרופא לשחק ללא הגבלה ולשנות פעם אחר פעם את ההטיה של כל השתלים לפי מאפייני הרכס באזור ההשתלה כך שבסופו של דבר תתקבל מקבילות מקסימלית בין השתלים בכל לסת.

חסרונות:

1. יכולה להתרחש טעות בשלב התכנון הממוחשב: דרוש ידע וניסיון הן של הרופא והן של הטכנאי בפענוח ה-CT ובשימוש בתוכנת התכנון הממוחשב בכדי שהניתוח הווירטואלי ייעשה בצורה נכונה. טעות תכנונית שנובעת למשל מחוסר ניסיון או מעיוות בסריקת ה-CT או מאי-הקפדה על שלושת המישורים במרחב בזמן השימוש בתוכנה תגרום לייצור סד שאינו מתחשב באנטומיה באופן מלא, וכתוצאה מזה לניתוח שמפר את עקרונות המרחק מהמבנים האנטומיים ומסכן את המטופל בפגיעה.⁷

2. יכולה להתרחש טעות בשלב הייצור המעבדתי של הסד: אין הליך דנטלי מעבדתי שהוא חסין אי-דיוקים שעלולים להיכנס לתוצר הסופי. נהפוך הוא, הספרות המדעית מכירה במגבלות יכולת הדיוק של דרכי הייצור השונות ומתחשבת בהם. מקור אי-הדיוק יכול להיות בסורק האינטרה אורלי, במטבעי הלימוד, ו/או בהליך הייצור המעבדתי של הסד. אם יש פער בסד כפי שמופיע במחשב אל מול התוצר הסופי כפי שמתקבל במעבדה עלולה להיות טעות ניתוחית.⁷

3. הסד עלול לזוז ממקומו בזמן הניתוח: חלק גדול ממהלך הניתוח שנעשה בהנחיית סד ממוחשב מושקע בוידוא מיקומו הנכון של הסד, בין אם נשען על שיניים, עצם, או על רקמות רכות. תזוזה מהמיקום המתוכנן ולו הקטנה ביותר תגרום לקידוח שאינו לפי התכנון בזמן שהרופא נשען של תחושת ביטחון כי הסד מגן על המבנים הקריטיים הסמוכים. דבר זה בולט יותר כאשר הסד לא נשען על שיניים.⁸

4. הסד מסתיר חלק מהשדה הניתוחי: חלק מהשדה הניתוחי מוסתר מעיני המנתח מפני שהסד מכסה וחוסם פרטים ויזואליים תוך-ניתוחיים שיכולים להיות קריטיים בזמן הניתוח, כמו איריגציה לא מספקת של סליין לאזור הקידוח או הרס עצם לא צפוי בשיא הרכס בעת הקידוח.⁸

5. הסד מפחית את התחושה הטקטילית בקצות אצבעותיו של המנתח: התחושה הטקטילית חשובה להערכת איכות וצפיפות העצם שממנה גם נגזר סוג ומידת השתל שייבחר בסיום הקידוח. אצבעות המנתח נוגעות בסד ולא ברקמות המטופל הסמוכות לאתר ההשתלה, ולכן תחושת הפידבק הטקטילי דרך אצבעות המנתח נפגעת והתחושה של קושי העצם בזמן הקידוח מטשטשת.⁹

6. הסד לא נוח באזורים אחוריים או במטופלים עם מפתח פה קטן: כדי שהסד יישען בצורה מדויקת ויציבה על מספר נקודות בחלל הפה, הוא צריך להיות בגודל מספק דבר שהופך אותו לא נוח אצל אנשים עם פה קטן או בהשתלות באזורים אחוריים בפה.¹⁰

7. עלויות כספיות נוספות: בזמן שעלות טיפולי שיניים כירורגיים שיקומיים היא גבוהה, צריך לשקול בכובד ראש האם תוספת של טכנולוגיה יקרה באופן שגרתי היא דבר נכון ברמה המערכתית. ייתכן שהרופא או המטופל ינסו לחסוך באספקטים טיפוליים אחרים כדי לעמוד בעלויות התכנון הממוחשב, וכך באופן לא ישיר לפגוע בטיב הטיפול.

8. הזמן המוקדש לתכנון וייצור הסד הכירורגי המנחה: תכנון הטיפול דורש השקעה ותיאום בין הרופא לטכנאי עם כל המשתמע לגבי שעות העבודה. כמו כן, הייצור המעבדתי ושליחת הסד דורשים זמן נוסף.

9. נדרשת הרמת מתלה גדולה במקרה של סד נתמך עצם Bone-supported: כאשר אין שיניים שהסד יכול להישען עליהם, נדרש שטח פנים גדול של עצם הלסת כדי לוודא מיקום מדויק של הסד, והדבר דורש הרמת מתלה חניכיים גדול יותר.⁸

דיון:

הסד הכירורגי המנחה הוא כלי חשוב בתחום ההשתלות הדנטליות, וכמו כל כלי טיפולי, יש לו נוסף על היתרונות גם חסרונות. רופא השיניים צריך להכיר היטב את יכולות הסד המנחה ולהחליט לפי נתוני המקרה ולפי יכולותיו הכירורגיות האם תוספת של כלי זה תשפר את התנאים בעת הניתוח או לא. ברור ששילוב של מנתח מנוסה עם מקרה השתלות פשוט אינו דורש שימוש בסד כירורגי, אך אין זה אומר שהמנתח המתחיל יכול לטפל במקרה מסובך בקלות בעזרת סד כירורגי. נהפוך הוא, לכל כלי טיפולי יש עקומת לימוד שהמנתח צריך לרכוש משלב התכנון הממוחשב והניתוח הווירטואלי ועד לשימוש הפעיל בסד בזמן הניתוח במרפאה. ההמלצה היא להתחיל לרכוש את המיומנות במקרים פשוטים ולא מאתגרים.

שאלת המאמר העיקרית היא האם שימוש שגרתי בסד כירורגי בהשתלות שיניים יביא לתוצאים טובים יותר או שמא יש להשתמש בו באופן סלקטיבי במקרים ספציפיים. לאחר שסקרנו את החסרונות של הסד, ברור ששימוש יתר בעזרים שמיועדים להוסיף בטיחות לפרוצדורה – ללא אינדיקציה ברורה – יכול רק להגדיל את הסיכוי לטעויות. באופן כללי ברפואה, הוספת אמצעי טיפולי כאשר לא הייתה לו אינדיקציה, נחשבת לטעות, מפני שאין כלי טיפולי או כירורגי שהוא תמים לחלוטין וחסין טעויות, וכל טכנולוגיה שמוסיפים לניתוח מביאה איתה אלמנטים של אי-דיוק וסיכונים הרלוונטיים לה, וזה מחייב את הרופא המטפל לדעת להתמודד איתם. תוספת עזרים כאלה באופן שגרתי אינה מומלצת באופן שגרתי.

כאשר תוספת הסד משרתת לפשט את הניתוח, להקל על המנתח, ולהגביר את הדיוק בניתוח, אז בוודאי שיש לו אינדיקציה. בכל מצב שהוא לא מעניק אחד או יותר מהיתרונות הללו, אין הצדקה להשתמש בו. יתרונו העיקרי הוא באותם מצבים שמתוכננות השתלות בזוויות והטיות לא שגרתיות, או כאשר הטיפול מחייב קרבה יתרה למבנים אנטומיים סמוכים^{11,12}.

כמו כן, יש לו יתרון משמעותי בשיקומים טוטליים שכוללים עקירות והשתלות מיידיות והעמסות מיידיות. בטיפולים מורכבים אלה אפשר לנצל את יכולת ה-reverse engineering ולהקל רבות על הרופא המנתח והרופא השיקומאי¹³. התכנון הממוחשב והסד המנחה במקרי קיצון עוזר למנתח להבין את המקרה באופן יותר מעמיק ולדעת לקבוע יעדים ולסמן גבולות. מנגד, וכפי שהזכרנו לעיל, מומלץ לרופא להתחיל לרכוש את המיומנות במקרים קלים ולא במקרים מאתגרים.

רופא השיניים ששוקל להכניס את הסד לארסנל הכלים שלו חייב להיות בקיא בתחום ההשתלות שמבוצעות ביד חופשית freehand לפני שהוא מאמץ טכנולוגיות מתקדמות. צריך להכיר במגבלות הסד ולדעת שעלול להיווצר מצב שבו השיקול הקליני של המנתח מאלץ אותו לוותר על הנחיית הסד בזמן הטיפול ולהמשיך את הניתוח בלעדיו. אין תחליף לניסיון הקליני, לשיקול הרפואי התוך-ניתוחי, ולעבודה הכירורגית היסודית שמכבדת את כל עקרונות הטיפול. הסד הוא תוספת ולא חלופה לידע ולניסיון הכירורגי.



References

1. Orentlicher G, Goldsmith D, Abboud M. Computer-Guided Planning and Placement of Dental Implants. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2012 Mar;20(1):53-79.
2. D'haese J, Ackhurst J, Wismeijer D, De Bruyn H, Tahmaseb A. Current state of the art of computer-guided implant surgery. Vol. 73, *Periodontology* 2000. Blackwell Munksgaard; 2017. p. 121-33.
3. Duvall NB. Fabricating a chairside CAD-CAM radiographic and surgical guide for dental implants: A dental technique. 2021.
4. Etajuri EA, Suliman E, Mahmood WAA, Ibrahim N, Buzayan M, Mohd NR. Deviation of dental implants placed using a novel 3d-printed surgical guide: An in vitro study. *Dent Med Probl.* 2020;57(4):359-62.
5. Greenberg AM. Digital Technologies for Dental Implant Treatment Planning and Guided Surgery. Vol. 27, *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America.* W.B. Saunders; 2015. p. 319-40.
6. Chen P, Nikoyan L. Guided Implant Surgery: A Technique Whose Time Has Come. Vol. 65, *Dental Clinics of North America.* W.B. Saunders; 2021. p. 67-80.
7. Lo russo L, Ercoli C, Guida L, Merli M, Laino L. Surgical guides for dental implants: measurement of the accuracy using a freeware metrology software program. *J Prosthodont Res.* 2022;
8. Raico Gallardo YN, da Silva-Olívio IRT, Mukai E, Morimoto S, Sesma N, Cordaro L. Accuracy comparison of guided surgery for dental implants according to the tissue of support: a systematic review and meta-analysis. Vol. 28, *Clinical Oral Implants Research.* Blackwell Munksgaard; 2017. p. 602-12.
9. Smitkarn P, Subbalekha K, Mattheos N, Pimkhaokham A. The accuracy of single-tooth implants placed using fully digital-guided surgery and freehand implant surgery. *J Clin Periodontol.* 2019;46(9):949-57.
10. Yogui FC, Verri FR, de Luna Gomes JM, Lemos CAA, Cruz RS, Pellizzer EP. Comparison between computer-guided and freehand dental implant placement surgery: A systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2021 Feb 1;50(2):242-50.
11. Gargallo-Albiol J, Barootchi S, Salomó-Coll O, Wang HL. Advantages and disadvantages of implant navigation surgery. A systematic review. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2019.04.005>
12. Putra RH, Yoda N, Astuti ER, Sasaki K. The accuracy of implant placement with computer-guided surgery in partially edentulous patients and possible influencing factors: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthodont Res.* 2022;66(1):29-39.
13. Kernen F, Kramer J, Wanner L, Wismeijer D, Nelson K, Flügge T. A review of virtual planning software for guided implant surgery - Data import and visualization, drill guide design and manufacturing. Vol. 20, *BMC Oral Health.* BioMed Central Ltd; 2020.

