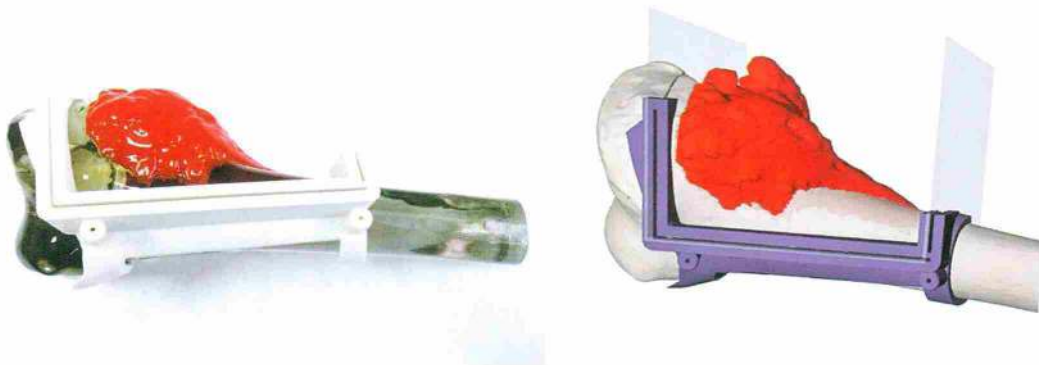


19.7x24.89	1/5	עמוד 42	טבע הדברים	12/04/2016	52811389-7
מרכז רפואי תל אביב איכילוף - 38046					

הדמיה והדפסת תלת-ממד משנות את פני האורתופדיה האונקולוגית

פרויקט חדשני בתחום האורתופדיה האונקולוגית מדגים יכולות הדמיה (שלד וגידול) והדפסת תלת-ממד, ומאפשר תכנון מקדים ויצירת כלי עזר ניתוחיים מותאמים לחולה, ובכך מציג אפשרות פורצת דרך לשינוי הגישה הכירורגית האורתופדית.



מודל תלת מימדי של גידול ממאיר בירך מרוחקת סמוך לברך (הגידול מודגם באדום) והמכשור ההנחיה הכירורגי לחיתוך מדויק סביב הגידול – אשר אפשר שימור הברך שללא השימוש בטכנולוגיה זו היתה נכלל בכריתת הגידול. מימין - המודל התלת מימדי הממוחשב יחד עם המכשור הכירורגי מותאם חולה (PSI) צילום – דר' שלמה דדיה משמאל - המודל הפיזי והמכשור הכירורגי האישי (PSI) המודפס במדפסת תלת מימד צילוסרפואי – ביה"ח סוראסקי

19.95x26.19	2/5	43	עמוד	טבע הדברים	12/04/2016	52811391-0
מרכז רפואי תל אביב איכילוו - 38046						

כתב: ד"ר שלמה דדיה

אף על פי שטכנולוגיית הדפסת תלת-ממד קיימת כבר כשני עשורים, רק בשנים האחרונות מתקיים מחקר אינטנסיבי בהקשר לחומרים ביו-קומפטיביליים, והחל להיעשות שימוש ביתרונות טכנולוגיה זו בעולם הרפואה בכלל והכירורגיה בפרט. כיום ניתן להפיק מודלים תלת-ממדיים ממוחשבים בתכנות הממירות קובצי הדמיה מסוג DICOM. בתהליך זה ניתן לבדוד רקמות מתוך CT ו-MRI, ולהציגן בוויזואליזציה תלת-ממדית. מודלים אלה ניתנים להדפסה במדפסות תלת-ממד מחומרים וצבעים שונים ובדרגות שקיפות שונות, כך שכירורג יכול לקבל מודל ממוחשב ופיזי של חולה ספציפי, אשר ממנו הוא יכול להסיק על הבעיה הכירורגית בהקשר האנטומי המדובר, לתכנן ניתוח ולהתכונן אליו בצורה מיטבית.

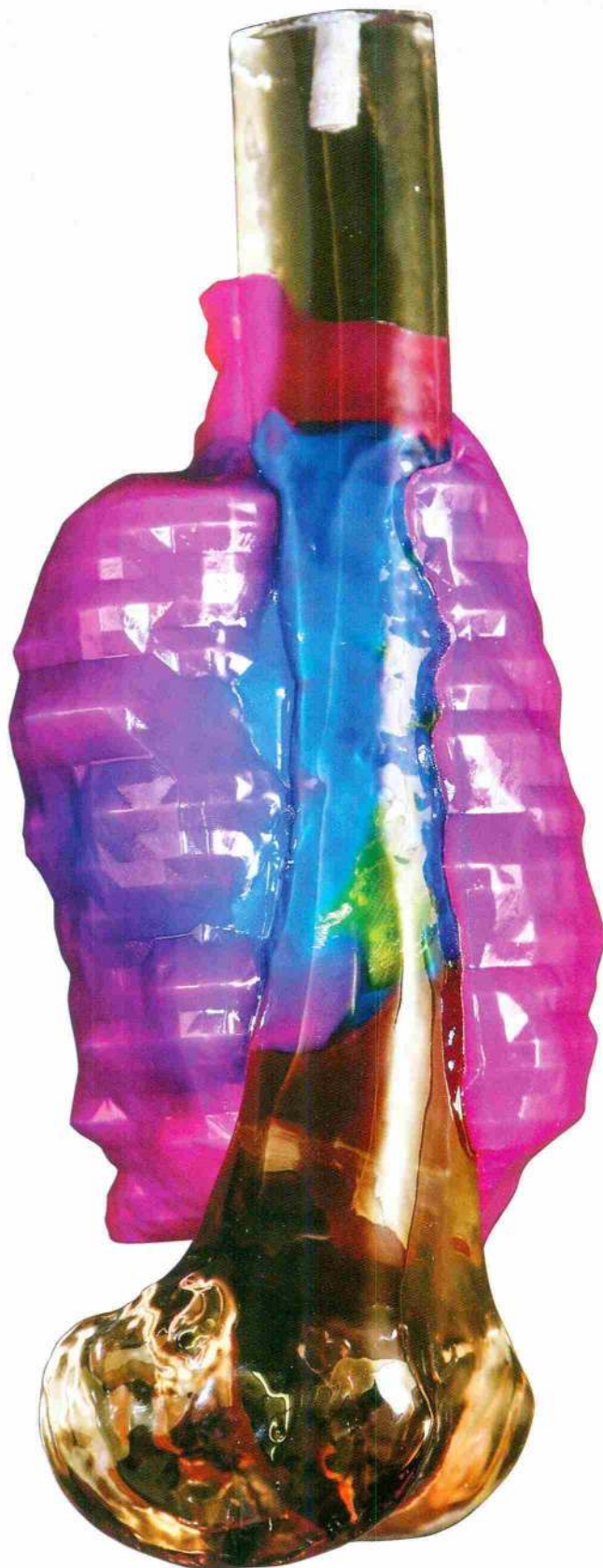
ד"ר שלמה דדיה, שנמצא בתקופת מחקר בלונדון, עומד בראש פרויקט זה לפיתוח טכנולוגיית תלת-ממד חדשנית בתכנון וניהול ניתוחי סרקומות. כחלק משלב היישום הקליני של המחקר בוצעו בחודשים האחרונים, במחלקה הארצית לאורתופדיה אונקולוגית במרכז הרפואי איכילוב, כמה ניתוחים מוצלחים בשילוב טכנולוגיה זו בחולי סרקומה ראשונית של העצם.

תרומה של הטכנולוגיה לאורתופדיה האונקולוגית

אתגר הכירורגי הגדול ביותר באורתופדיה אונקולוגית הוא כריתת גידולי עצם ממאירים בגבולות חופשיים מגידול. זהו התנאי הראשוני למניעת חזרה מקומית של הגידול ולהפחתת התקדמות המחלה כתוצאה מהתפשטות גורתית. קיים קושי רב בתכנון הכריתה הכירורגית באמצעי ההדמיה הקיימים, על אחת כמה וכמה באזורים אנטומיים מורכבים כמו האגן, ובהמשך לכך, קיים קושי רב ביישום מדויק של תכנון הניתוח המקורי.

דיוק הכריתה בילדים (האוכלוסייה העיקרית עם גידולי עצם ראשוניים) הוא בעל חשיבות ניכרת, שכן השלד בילדים נמצא עדיין בצמיחה, וגידולים ממאירים שנמצאים בסמיכות למפרקים וללוחיות צמיחה מהווים אתגר כירורגי גדול בניסיון לשמר את פוטנציאל הצמיחה של הגפה ואת תפקוד המפרק הנטיבי של הילד.

כיצד פועלת הטכנולוגיה החדשה לטובת העניין? הטכנולוגיה מאפשרת בניית מודלים תלת-ממדיים של העצם והגידול, תוך הערכת מיקום הגידול ותכנון כריתתו בדיוק מרבי, השגת גבולות כריתה חופשיים מגידול, ושיפור משמעותי של הפרוגנוזה לחזרה מקומית של הגידול.



דגם שהודפס במדפסת תלת-מימד שמדמה עצם ירך מרוחקת (בחומר שקוף) עם גידול ממיר שפורץ מהעצם אל הרקמות הרכות (הגידול מודגם בצבע) ומאפשר לכירורג להתחקות על מעורבות העצם בגידול ועל סמיכות הגידול למפרק הברך.

דגם זה הודפס על ידי חברת synergy צילום רפואי – ביה"ח סוראסקי

19.16x26.04	3/5	44	עמוד	טבע הדברים	12/04/2016	52811393-2
מרכז רפואי תל אביב איכילוף - 38046						

לציין כי המודלים והמכשור מודפסים מחומרים שיכולים לעבור סטריליזציה לפני השימוש בעת הניתוח.

פלטפורמה אינטרנטית אינטראקטיבית לכירורג

אחת הבעיות המרכזיות במודל העבודה הנוכחי נעוצה בעובדה שהכירורג אינו מעורב בתכנון הניתוח בצורה מספקת, והתקשורת עמו היא לרוב דו-ממדית (צילומי מס). דבר זה גורר טעויות וחוסר דיוק ואינו מנצל את הפוטנציאל הגלום בטכנולוגיה.

אחד התוצרים החשובים של פרויקט זה הוא יצירת פלטפורמה אינטרנטית אינטראקטיבית לכירורג, המאפשרת קבלת מודל תלת-ממדי דינמי ויישום כלים תכנוניים פשוטים המאפשרים ויזואליזציה של מישורי כריתה, הזזת פרמנטים, הוספת אמצעי קיבועי (כגון פלטות) וכדומה. באופן כזה, הפלטפורמה מחזירה לכירורג את השליטה והאחריות להבנת המקרה ותכנונו.

הן המודל הממוחשב והן המכשור הניתוחי מותאם לחולה מודפסים במדפסות תלת-ממד, והם מאפשרים לכירורגים להתכונן, לבצע את הניתוח "על יבש" טרם הכריתה האמתית, ויתרה מכך, לא רק להגיע לתוצאות מדויקות ולגבולות כריתה מדויקים אלא אף מאפשרים למנתח לזהות מבעוד מועד מגבלות ומכשולים פוטנציאליים למהלך הניתוח. כך יכול המנתח לשנות ולתקן את מהלך הניתוח בהתאם, ורמת המוכנות של הצוות המנתח עולה עשרות מונים.

השימוש בטכנולוגיית תלת-ממד בתחומי אורתופדיה אחרים

סקירת הספרות מראה שימוש הולך ומתרחב בטכנולוגיית תלת-ממד בכירורגיה אורתופדית בתחומיה השונים: טראומה ושברים מורכבים, תיקון דפורמציות, החלפת מפרקי ירך וברך. בתיקוני דפורמציות וטראומה ניתן להבין באופן אינטואיטיבי כיצד טכנולוגיה זו נותנת כלים תכנוניים שאינם קיימים היום לכירורג, אבל גם בניתוחים אלקטיביים כגון החלפות מפרקים, הוכח בעבודות נרחבות כי השימוש בתכנון תלת-ממדי ובמכשור מותאם חולה מביא לתוצאות כירורגיות טובות יותר, עם קיצור זמן ניתוחי ותוצאות תפקודיות טובות יותר בעבור החולים (גם אם בשימוש במשתל סטנדרטי).

מטרה נוספת של הפרויקט היא לפתח כלים לשחזור חוסרי העצם לאחר כריתת הגידולים. באותה תכנה ניתן יהיה לתכנן את צורת השחזור של העצם בשיטות שונות, כגון: שתל עצם עצמוני, שתל עצם מבנק העצם, שתל מתכתי. המכנה המשותף לכל אלה יהיה תכנון קדם-ניתוחי מדויק בבנייתו על ידי תכנת התלת-ממד. כשמדובר בשתלי עצם, ניתן יהיה להגיע לחיתוך מדויק של אותו חסר ולהשלמת החסר כפאזל, באמצעות אותו מכשור PSI.

באשר למתכות, כבר קיימות כיום מדפסות תלת-ממד המדפיסות שתלי מתכת בתחומים כירורגיים שונים. תחום מחקר זה מתפתח בצורה מהירה בעשור האחרון. כיום ניתן להדפיס בתלת-ממד במתכות כגון טיטניום וקובלט-כרום. התוצרים עדיין אינם מספקים, אך אין ספק שזהו העתיד בעולם האורתופדי בכלל ובשתלי האורתופדיה האונקולוגית בפרט.

המאמר נכתב על ידי ד"ר שלמה דדיה, מומחה בכיר במחלקה הארצית לאורתופדיה אונקולוגית במרכז הרפואי איכילוף, ומנהל פרויקט ב-MSK Lab - אוניברסיטת Imperial College London, ובשיתוף צוות המחלקה הארצית לאורתופדיה אונקולוגית, המרכז הרפואי איכילוף: פרופ' י' קולנדר, ד"ר י' גורצ'ק, ד"ר א' שטרנהיים, ד"ר י' ביקלס, ד"ר א' סגל

פחות טעויות, יותר דיוק - כיצד זה עובד?

לרשות המנתח עומד מודל תלת-ממדי ממוחשב שעליו הוא יכול לתכנן את קווי הכריתה הכירורגית, ולהעביר את התכנית למדפסת תלת-ממד המייצרת לכל מטופל ומטופל מכשור תוך-ניתוחי בהתאמה אישית. באופן כזה אפשר לבצע כריתות מדויקות ולחסוך במסת עצם, ובאזורים שבהם הגידול סמוך למפרקים, לבצע בבטחה שימור מפרקים, רקונסטרוקציה של החסר בעצם בלבד ללא החלפת מפרקים, ולהוריד את שיעור הכנסתם של מגה-משתלים בעיקר בילדים ובנערים, שאצלם שכיחות הסרקומות גבוהה באופן יחסי. מיותר לציין ששיעור הסיבוכים הנובעים ממגה-משתלים ירד, אגב כך, באופן משמעותי.

תכנון קדם-ניתוחי מדויק להסרת גידול מהעצם וייצור של מכשור תוך-ניתוחי מותאם חולה (PSI - Patient Specific Instrument) מאפשרים, אם כן, לכירורג לבצע כריתה מדויקת, מצמצמים משמעותית את טווח הטעות הכירורגית האנושית ומגדילים את הסיכוי לכריתה מדויקת עם גבולות אונקולוגיים חופשיים, בעיקר באזורים אנטומיים מורכבים כגון האגן ובסמוך למפרקים. עוד יש

תכנון אוסטאומיה אצטבולרית (Shelf procedure) בילדה בת שבע:

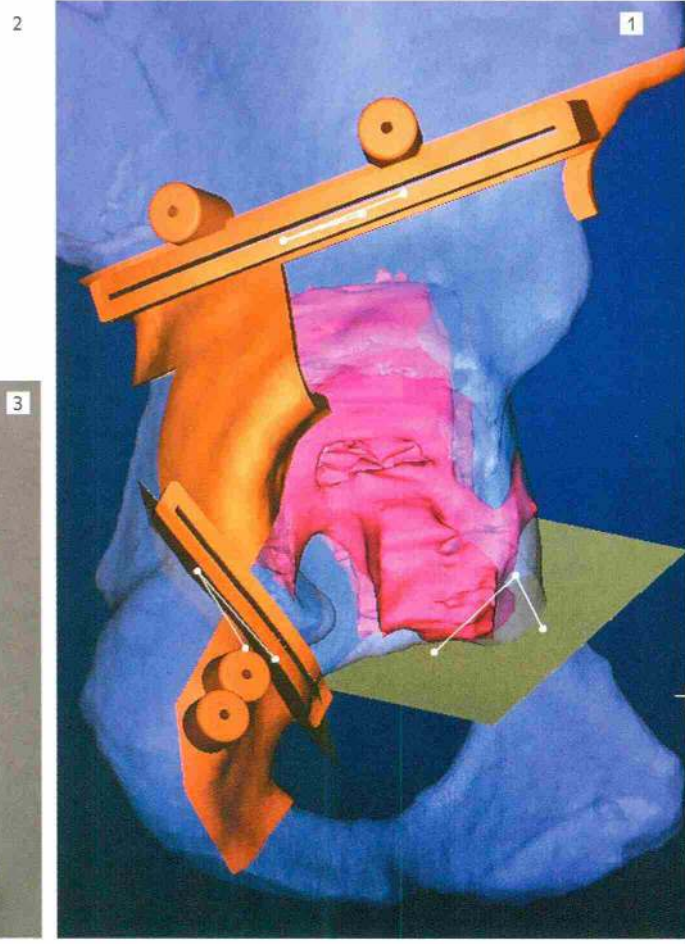
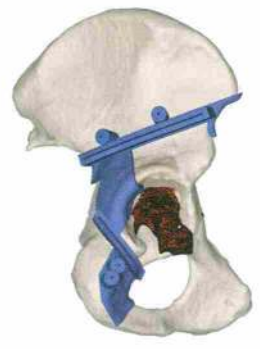
- 1.** המודל התלת-ממדי, עם אוסטאומיה באצטבולום בצד שמאל, כפי שתוכננה על ידי הכירורג.
- 2.** הדגמת התוצאה הפוסט-אופרטיבית הרצויה.
- 3.** תכנון מכשור מותאם חולה (PSI) להוצאה לפועל של האוסטאומיה.
- 4.** דגם פיזי ספציפי של האגן של הילדה, שהודפס במדפסת תלת-ממד.
- 5.** המכשור המותאם חולה (PSI) כפי שהודפס אף הוא במדפסת תלת-ממד.
- 6.** שימוש במכשור מותאם חולה (PSI) בזמן הניתוח. ניתן לראות התאמה מלאה לאזור האנטומי שבעבורו תוכנן.
- 7.** צילום פוסט-אופרטיבי המדגים עמדה זהה של הפרגמנטים בקו האוסטאומיה בהתאם לתכנון הניתוח המקורי.



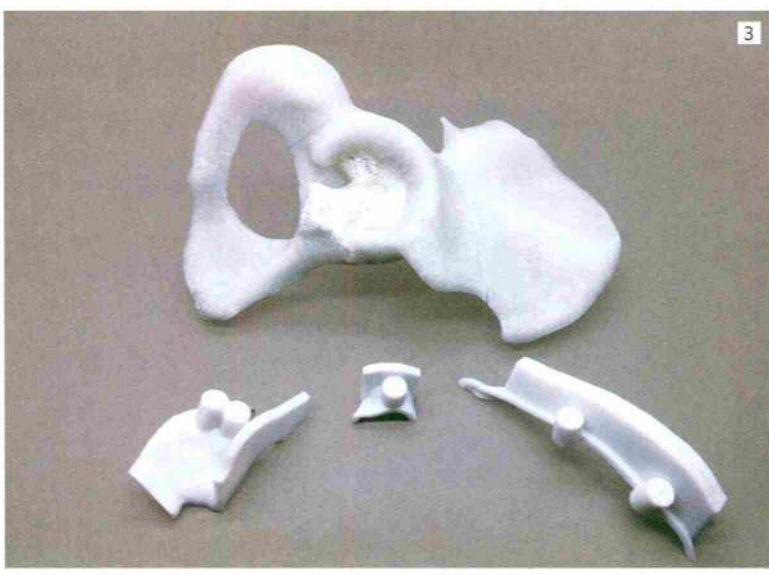
20.03x26.14	4/5	45	עמוד	טבע הדברים	12/04/2016	52811396-5
מרכז רפואי תל אביב איכילוו - 38046						

1. במודל מחשובי זה מודגשת שקיפות העצם המדגימה את שלוחות הגידול בתוך העצם, ומאפשרת קביעה מדויקת של מישורי החיתוך לשם קבלת גבולות נקיים מגידול.

2. מודל תלת-ממדי ממוחשב של גידול אגני ממאיר במפרק הירך + תכנון מישורי הכריתה והמכשור האישי (PSI).



צילום: ד"ר שלמה דדיה



3-4. מודל פיזי של מפרק הירך והגידול כפי שהודפס במדפסת תלת-ממד. 3 - מחומר פלסטי לבן, 4 - מגבס, כאשר הגידול מודגש בצהוב.

בנוסף מודגמים שני סטים של המכשור מותאם החולה להנחיית כריתת הגידול.

5. דגם שהודפס במדפסת תלת-ממד, שמדמה עצם ירך מרוחקת (בחומר שקוף) עם גידול ממאיר שפורץ מהעצם אל הרקמות הרכות (הגידול מודגם בצבע), ומאפשר לכירורג להתחקות אחר מעורבות העצם בגידול וסמיכות הגידול למפרק הברך. דגם זה הודפס על ידי חברת synergy.

6. מקטע העצם עם הגידול, יחד עם המכשור אשר סייע לכריתה מדויקת כפי שתוכנן. צילום רפואי בית החולים סוראסקי



באדיבות חברת סימביוניקס



צילום רפואי ביה"ח סוראסקי

19.12x25.81	5/5	46	עמוד	טבע הזכרים	12/04/2016	52811398-7
מרכז רפואי תל אביב איכילוף - 38046						



צילומים מתוך חדר הניתוח (תמונה 1,2) המראים את כריתת הגידול מן הירך המרוחקת, כפי שמודגם בעמוד הראשון.
 בעזרת השימוש במכשור האישי שתוכנן והודפס במדפסת התלת-ממד ניתן להציל את הברך של החולה (תמונה 3 מראה את המכשור כפי שהגיע סטרילי לתוך חדר הניתוח).
 תמונות 4,5,6 - הדגמה של תהליך שחזור חסר העצם על ידי שתל עצם, עם אותו מכשור כירורגי מותאם חולה.
 (צילום רפואי - בית החולים סוראסקי)

