



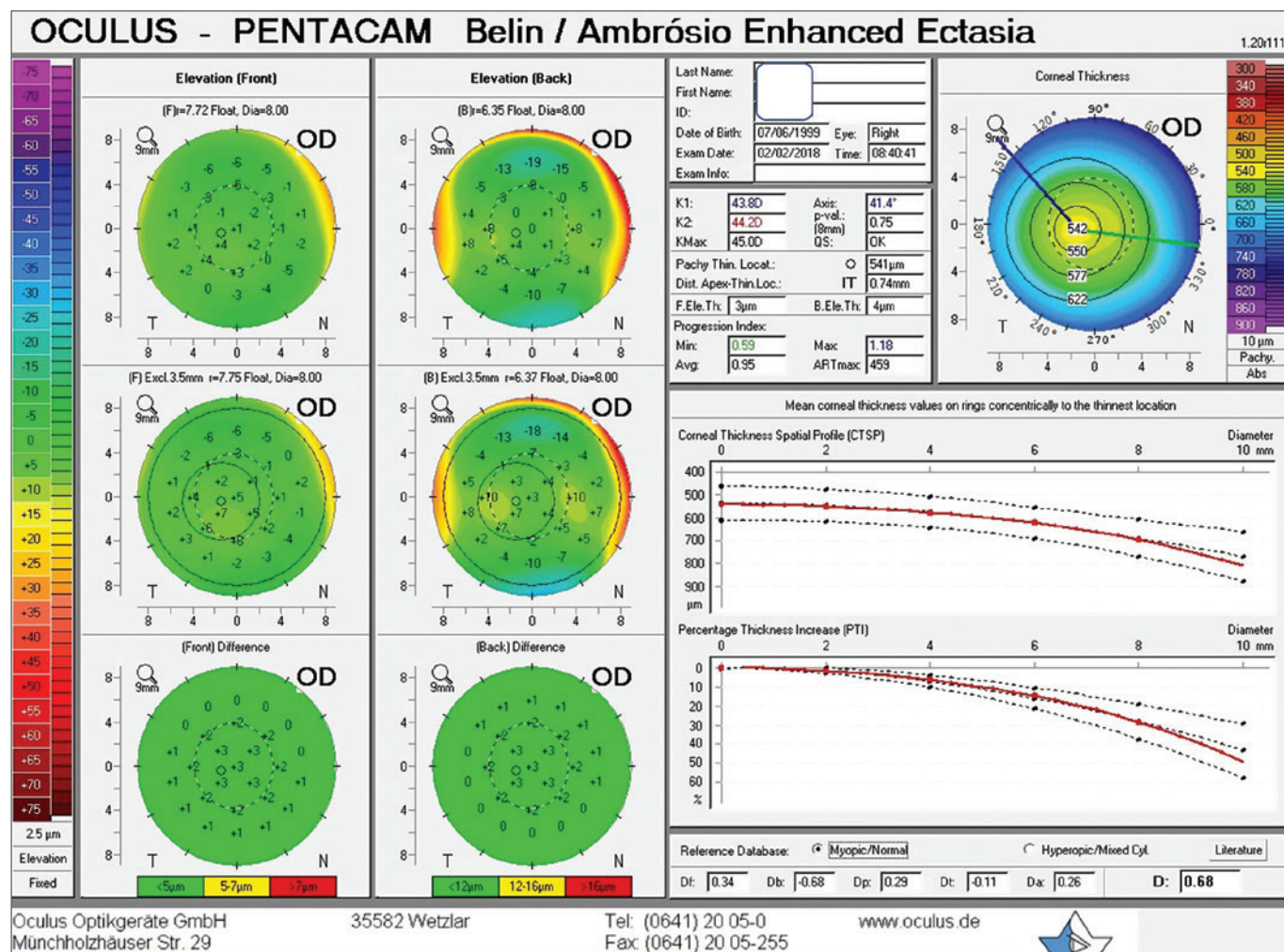
# הערכה קדם ניתוחית של הקרנית התקינה מול הקרנית החשודה במועמדים לניתוחי רפרקציה

מערך העיניים, מרכז רפואי הדסה עין כרם, האוניברסיטה העברית בירושלים

פרופ' אבי סלומון

הממוחשבת של הקרנית המופקות ממכשירי דימות שונים. מכשירי הדימות הנפוצים ביותר כיום בשימוש שגרתי הם מכשירים משולבים מבוססי מצלמות שיימפלוג (Scheimpflug) ופלסידו (Placido). הפלט של מכשירים אלו מציף את המנתח הנבון בשלל אינדקסים ומדדים, שאמורים לעזור לו בהחלטה האם לפניו קרנית תקינה אותה ניתן לנתח בביטחה, או קרנית חשודה עם מדדים גבוליים שאינה מתאימה לניתוח. מטרת המאמר היא להציג את המדדים

המנעות מניתוחי רפרקציה בקרניות בעלות גורמי סיכון לאקטזיה אחר-ניתוחית היא אחד האתגרים האבחנתיים הראשיים הניצבים מול כל מנתח רפרקציה. הערכה קדם ניתוחית של הקרנית התקינה אל מול הקרנית החשודה לאקטזיה מתבססת על הבנה של מכלול נתונים, ובהם גיל המועמד לניתוח וההיסטוריה המשפחתית, יציבות הרפרקציה, עובי הקרנית המינימלי, עובי הקרנית המחושב לאחר האבלציה, וכן על הבנת האינדקסים השונים במפות הטופוגרפיה



Oculus Optikgeräte GmbH  
Münchholzhauser Str. 29

35582 Wetzlar

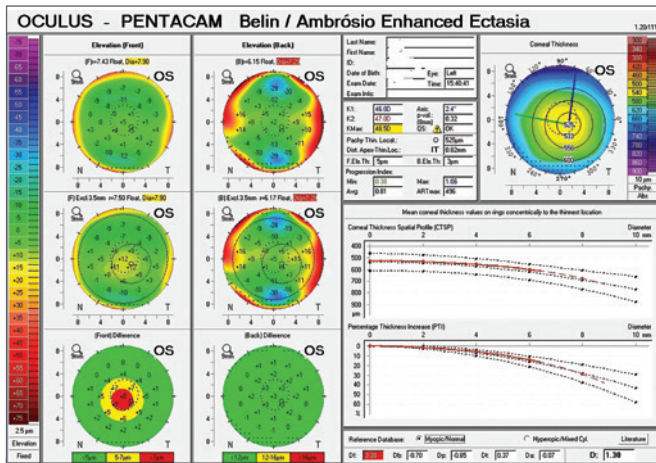
Tel: (0641) 20 05-0  
Fax: (0641) 20 05-255

www.oculus.de

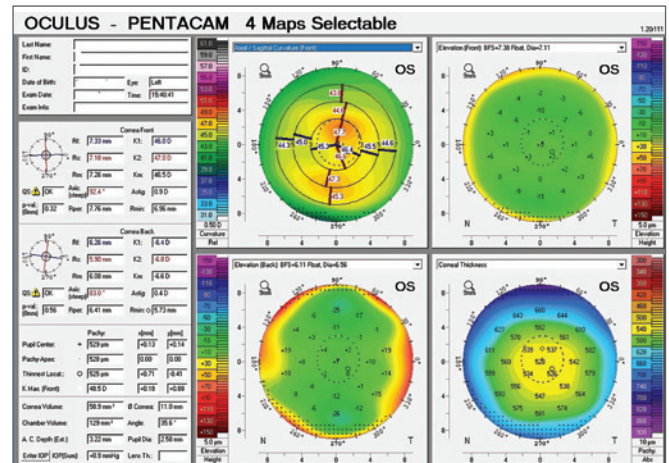


**תמונה 1** – מצג בלין אמברוסיו (Belin Ambrósio Display) של קרנית תקינה. מצג שמאל נותח של מפות הגבהים, מצד ימין נותח של מדדי עובי הקרנית, והפאנל התחתון מימין מציג סטיות תקן של המדדים השונים ביחס למסד נתונים נורמלי.





**תמונה 16** – הגבהה משמעותית במפת הגבהים הקדמית (ככל הנראה בגלל warpage), אך מפת הגבהים האחורית תקינה, וכל מדדי העובי תקינים. ה-BDA-D תקין, ולפיכך לא מדובר בקרנית עם גורם סיכון לאקטזיה.



**תמונה 16** – מפת הקמיריות מציגה עיוות הפנים של הקרנית הנובע מ-warpage על רקע שימוש בעדשות מגע.

ביחס למסד נתונים נורמלי, ובסופו נמצא את סטיית התקן הכללית, הנקראת BAD-D, המציגה נתון אחד מסכם המראה כמה הקרנית הזאת שונה ביחס לקרנית תקינה.

**מפות הגבהים ב-BAD**

מצד שמאל של המצג נראה 3 זוגות של מפות (תמונה 2). הזוג העליון הוא המפות הסטנדרטיות עם הנתונים הגולמיים של מפות הגבהים (elevation map) של הפנים הקדמיות (front) והאחוריות (Back) של הקרנית.

הזוג האמצעי מציג מפות הנקראות מפות **Exclusion**. מפות אלו מושגות ע"י בניית מישור חדש הנקרא enhanced best fit sphere. מישור זה מושג לאחר החסרה (exclusion) מהמפה הגולמית של איזור עגול בקוטר 3.5 מ"מ שמרכזו הנקודה הדקה ביותר. זהו בד"כ האיזור בו נמצאת עיקר הפתולוגיה בקרניות חשודות. לאחר החסרת המידע באיזור זה מהמפה הגולמית, מחושב מישור הייחוס החדש. כעת כל נתוני הגבהים מחושבים ביחס למישור זה. דבר זה לא יגרום לשינוי בניתוח המידע של קרנית תקינה, אך יגרום להבלטה של איזור האפקס הנמצא סביב הנקודה הדקה ביותר בקרנית עם מאפיינים קרטוקוניים.

הזוג התחתון מציג מפות הפרשים (Difference maps) המושגות ע"י החסרת הנתונים במפות הגולמיות מהנתונים במפות ה-Exclusion (Difference = Exclusion-Standard). הנתונים במפות הפרשים מציגים הבלטה רבה יותר של האיזורים האקטטיים במפות הגבהים הקדמיות והאחוריות. הפרשים של מעל 7µ במפת הפרשים הקדמית ומעל 16µ במפת הפרשים האחורית מסומן באדום, ומצביע על שינוי פתולוגי. הפרשים של מתחת ל-5µ במפת הפרשים הקדמית ומתחת ל-12µ במפת האחורית מצביעים על קרנית תקינה ומסומנים בירוק. ערכי הביניים מצביעים על פתולוגיה גבולית ומסומנים בצהוב (תמונה 2).

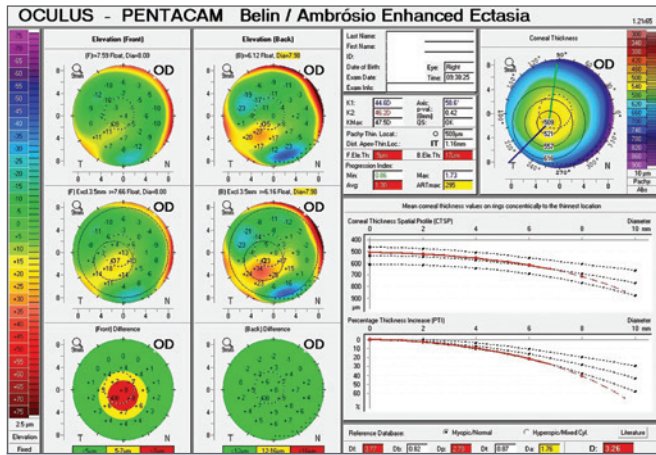
**מפת העובי ואחוז השינוי בעובי (PTI) ב-BAD**

מצד ימין של המצג נראה בחלק העליון מפת עובי הקרנית,

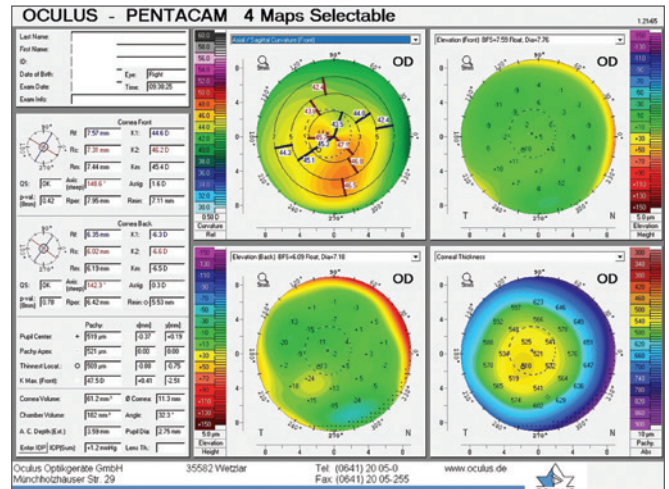
המובילים בדימות הקרנית במכשירים הנפוצים כיום בשימוש בארץ (ה-Pentacam וה-Galilei), ואת השימוש בהם כדי להגיע להחלטה הנכונה ביותר באשר להתאמת המועמד לניתוח רפרכיזה. המכשירים המשולבים מבוססי שיימפלוג ופולסידו נותנים מפות קמירות אקסיליות, מפות גבהים (elevation maps) של הפנים הקדמיות והאחוריות של הקרנית, ומפות עובי בנקודות שונות של הקרנית. מפות הגבהים מציגות את המידע ביחס למישור ייחוס (Best fit sphere) שקוטרו בד"כ הוא 8 מ"מ. בד"כ הן מוצגות כ-4 מפות במצג אחד (4-maps display). המפות כשלעצמן נותנות מידע איכותי חשוב על צורת הקרנית, ומידע על העובי והגבהים. קל מאוד לזהות על פי מידע זה את הקרנית התקינה, ובד"כ קל לזהות קרטוקונוס. אולם קשה לזהות על פי מבט חטוף בתמונות אלו את הקרניות הגבוליות, בעלות גורמי סיכון אפשריים לאקטזיה לאחר ניתוחי רפרכיזה. כדי לעזור למשתמש להבין בצורה כמותית ומדויקת את משמעות המידע, קיימים ברוב המכשירים שורה של מדדים (אינדקסים), המכמתים את המיזג האיכותי, ומבטאים בצורה מספרית תכונות שונות של הקרנית. מדדים (אינדקסים) אלו, ועוזרים למנתח להגיע להחלטה באשר להתאמת הקרנית לניתוח רפרכיזה.

**מדדים טופוגרפיים של ה-Pentacam**

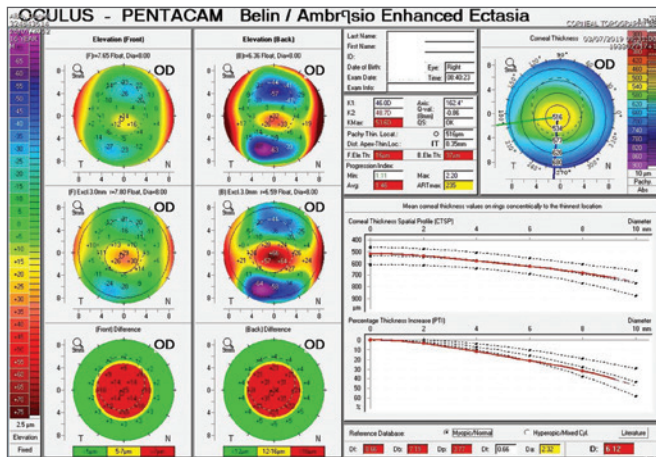
ניתוח נתוני הקרנית ב-Pentacam מוצג במערכת הנקראת **Belin Ambrosio Enhanced Ectasia Display** או בקיצור **BAD**. מערכת זאת היא תצוגה גרפית של מידע מעובד של מפות הגבהים ומפות העובי, והשוואות של נתוני הלבדק למסדי נתונים גדולים של קרניות נורמליות וקרניות קרטוקוניות. למצג יש 2 חלקים: (תמונה 1) מצד שמאל נמצא מפות גבהים עם ניתוח מתקדם המעצים את האיזורים הפתולוגיים ע"י הבלטה של איזורי הגבהה חריגים (מפות exclusion ומפות difference). מצד ימין נמצא מפות ועקומות עובי עם ניתוח המבוסס על שונות העובי בנקודות שונות בקרנית ביחס לנקודה הדקה ביותר **Percentage thickness increase** (PTI). בנוסף, בחלק הימני התחתון של המצג נמצא פאנל של נתוני סטיות תקן, המתייחס לסטיות התקן של כל אחד מהמדדים במצג



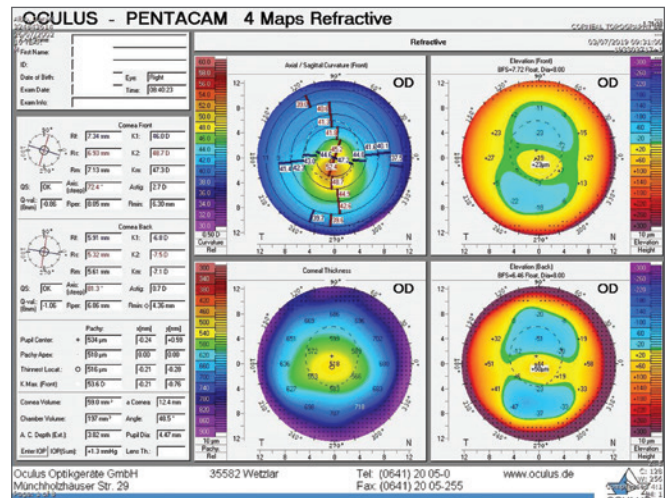
**תמונה 27** – הגבהה משמעותית במפת הגבהים הקדמית (מפה שמאלית תחתונה), ה-PTI פתולוגי (ה-Avg Progression index גבוה מאוד: 1.30), ה-ART max נמוך גבולית (295), וה-BAD-D הוא 3.26. תמונה זו מצביעה על קרנית פרה-קרטוקונית.



**תמונה 7א** – תבנית של אסטיגמציה לא רגולרית עם עיוות צירי של ההמי-מידיאנים התלולים (AB-SRX).



**תמונה 28** – מצג ה-BAD מדגים הגבהה משמעותית במפות הגבהים הקדמית והאחורית (למטה משמאל), עם Avg Progression Index גבוה (1.46) ו-ART max נמוך (235), עם BDA-D של 6.12. תמונה זו אופיינית לקרטוקונוס.



**תמונה 8א** – מפת הקמירויות מדגימה קרטוקונוס עם קמירות מירבית של 53.6 ד'.

הקרנית גדול יותר, דבר המעיד על קרנית קרטוקונית. במרכז המצג נמצאים ערכי ה-Progression index. המערכת בונה רדיוסים מהנקודה הדקה להיקף הקרנית, ומחשבת את ה-Progression index לכל אחד מהרדיוסים האלו. בתמונת העובי של הקרנית נראים 2 רדיוסים: רדיוס ירוק, לאורכו השינוי בעקומת ה-PTI היה הקטן ביותר; ורדיוס כחול, לאורכו השינוי בעקומת ה-PTI היה הגדול ביותר. ערכי אינדקס השינוי לרדיוס הירוק (השינוי המינימלי-min) והרדיוס הכחול (השינוי המקסימלי-max) מצויינים במרכז המצג (תמונה 3). הערך הממוצע של כל האינדקסים של השינוי נקרא **Average Progression Index** והוא מצויין במרכז המצג.

הערך התקין של האינדקס הממוצע לקרניות תקינות הוא  $0.9 \pm 0.28$  ולקרניות קרטוקוניות הוא  $1.16 \pm 0.81$ . ככל שהאינדקס הממוצע המשך בעמוד הבא «

כשבמרכזה מצויין הערך של העובי המינימלי (תמונה 3). בחלק התחתון נראה גרף אדום המציין את שינוי העובי באחוזים ביחס לעובי המינימלי במרחקים שונים מהנקודה הדקה ביותר של הקרנית. מצג זה מבוסס על העובדה שבקרניות קרטוקוניות קיים שינוי עובי תלול יותר מהנקודה הדקה ביותר אל היקף הקרנית. עקומת שינוי העובי מהנקודה הדקה אל היקף הקרנית נקראת **Percentage thickness increase** או **PTI**.<sup>5</sup> כדי לצייר את עקומת ה-PTI, מציינים טבעות קונצנטריות במרחקים של 1, 2, 3, 4 עד 10 מ"מ מהנקודה הדקה ביותר, ומחשבים את העובי הממוצע בהיקף של כל טבעת. מחשבים את השינוי באחוזים של העובי הממוצע בהיקף כל טבעת כזאת ביחס לעובי הנקודה הדקה ביותר. השינוי באחוזים מצויין כנקודה על העקומה האדומה. ה-Progression index הוא ערך מספרי המציין את שיפוע העקומה. ככל שהוא גדול יותר, שיפוע עקומת ה-PTI מהנקודה הדקה להיקף

ערכי סטיות תקן הנמוכים מ- 1.60 נחשבים לתקינים, והתיבה של אותו הערך לא נצבעת בצבע כלשהוא בצג. ערכי סטיות תקן של 1.60-3.00 נחשבים לגבוליים והתיבות בהם הם מופיעים נצבעות בצהוב. ערכי סטיות תקן הגבוהים מ- 3.00 נחשבים לפתולוגיים והתיבה נצבעת באדום (תמונה 4).

היעילות הרבה של ה Belin-Ambrosio Display היא בתמונה המהירה שהוא נותן לקלינאי העסוק. מבט אחד חטוף בשתי מפות הגבהים התחתונות (Difference maps), בערכי ה- PTI ART max, ובפאנל סטיות התקן מביא להחלטה האם מדובר בקרנית תקינה, קרנית גבולית חשודה, או קרנית פתולוגית. בכך קיים יתרון משמעותי ביחס למערכות הדמיייה מבוססות סטטיסטית של מדדי המטופל הבודד לאוכלוסיה התקינה.

**דוגמאות לשימוש ב- Pentacam וב- BAD**

**מקרה 1** (תמונות 5 א-ב)

בן 23 פנה לבדיקת התאמה לניתוח רפרקציה. בדיקת הרפרקציה היתה  $55^\circ \times -0.50$  /  $-4.25$  בעין ימין ו-  $80^\circ \times -0.25$  /  $-3.75$  בעין שמאל, עם תיקון ל- 6/6 בכל עין. עובי הקרנית המינימלי היה 517µm מימין ו- 520µm משמאל.

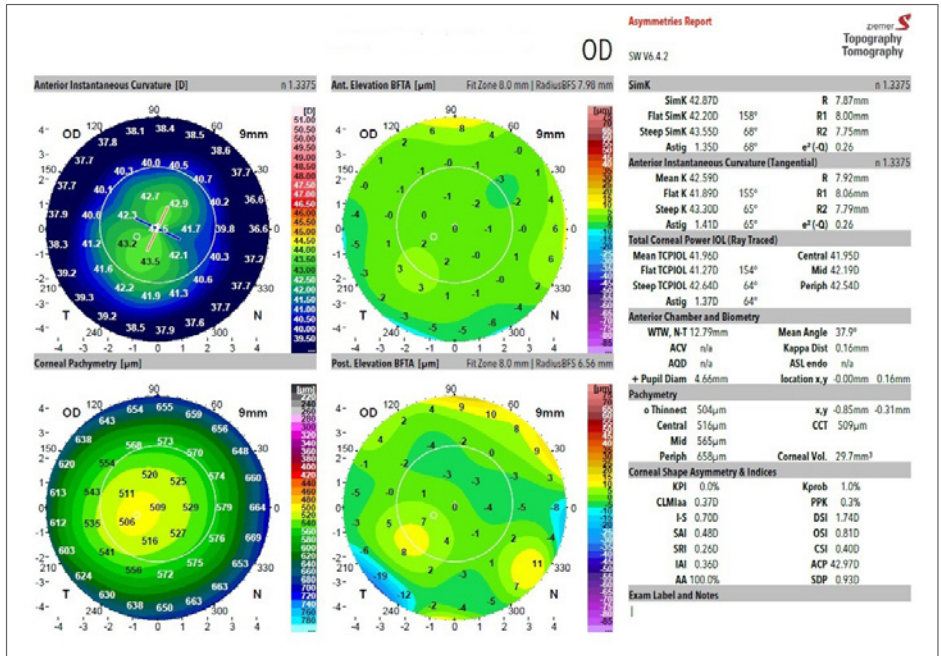
מפת הקמיריות האקסיאלית מראה inferior steepening משמעותי, שלכאורה מצביע על קרנית חשודה (מפה א5). אבל מצג ה BAD מדגים מפות גבהים תקינות, מדדי עובי תקינים, וכל סטיות התקן תקינות (מפה ב5). מועמד כזה יכול לבצע ניתוחי רפרקציה במידה גבוהה מאוד של בטיחות.

**מקרה 2** (תמונות 6 א-ב)

בן 35, משתמש קבוע בעדשות מגע חודשיות, אותן הוא מרכיב ברב שעות היממה, פנה לבדיקת התאמה. בדיקת הרפרקציה היתה  $180^\circ \times -1.25$  /  $-4.00$  בכל עין מתוקן ל- 6/6. עובי הקרנית המינימלי היה 528µm מימין ו- 525µm משמאל.

מפת הקמיריות האקסיאלית מראה צורה של אסטגימציה עם תמונה מעוותת, השונה מתמונת עניבת הפרפר הסימטרית הקלאסית. מצג ה- BAD מדגים הרמה משמעותית במפת הגבהים הקדמית (עיגול אדום במפה התחתונה משמאל), מפת גבהים אחורית תקינה, ערך ה- Average Progression Index הוא 0.81 (תקין), ה- ART max הוא 496 (תקין). סטיית התקן של מפת הגבהים הקדמית (Df) היא 3.38 ומסומנת באדום. ה- BAD-D תקין (1.30).

למעשה מדובר כאן בהרמה קדמית כתוצאה מ- warpage של פני הקרנית לאחר שימוש ממושך בעדשות מגע. בנוכחות מפת גבהים



**תמונה 9 – תמונת Galilei של קרנית תקינה.** כל האינדקסים (מצד ימין למטה) נמצאים מתחת לערכי הסף לפרה-קרטוקונוס ולקרטוקונוס.

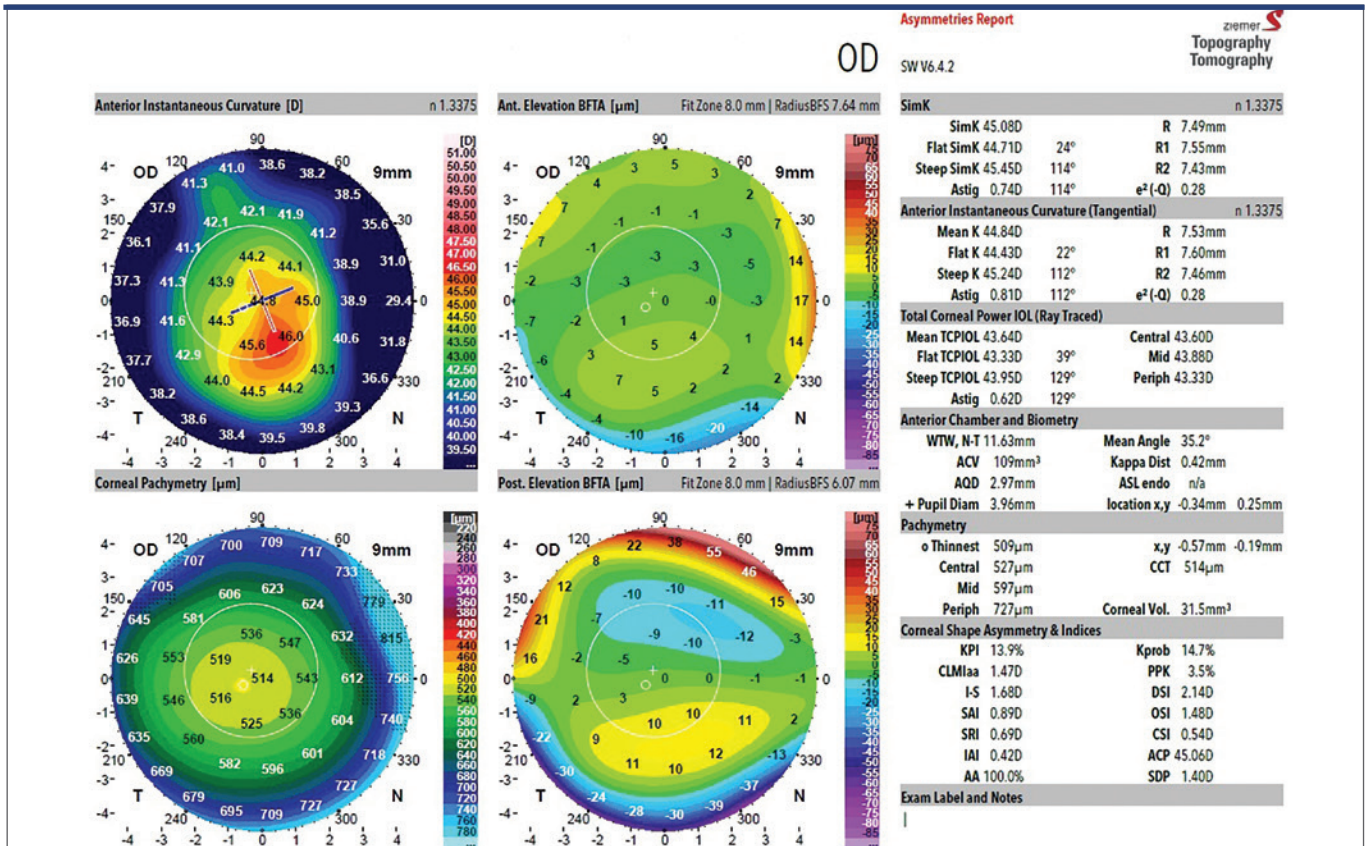
גבוה יותר מ- 1.15, כך הקרנית חשודה יותר כקרנית קרטוקונית. מדד נוסף הנמצא במרכז המצג הוא ART max. ה- ART הוא ר"ת של Ambrosio Relational Thickness. ערך זה מתקבל ע"י חלוקה של עובי הקרנית המינימלי באינדקס השינוי המקסימלי (תמונה 3, מסומן בעיגול ירוק). ככל שהקרנית דקה יותר, וככל שאינדקס השינוי המקסימלי גדול יותר, כך הקרנית יותר נוטה להיות קרטוקונית, וכך גם תוצאת השבר (ה- ART max) תהיה נמוכה יותר, ותצביע על קרנית פתולוגית. ערכי ART max נמוכים מ- 300 נחשבים לערכים פתולוגיים המצביעים על קרנית החשודה לקרטוקונוס.

**השורה התחתונה – סטיות התקן של מדדי ה BAD**

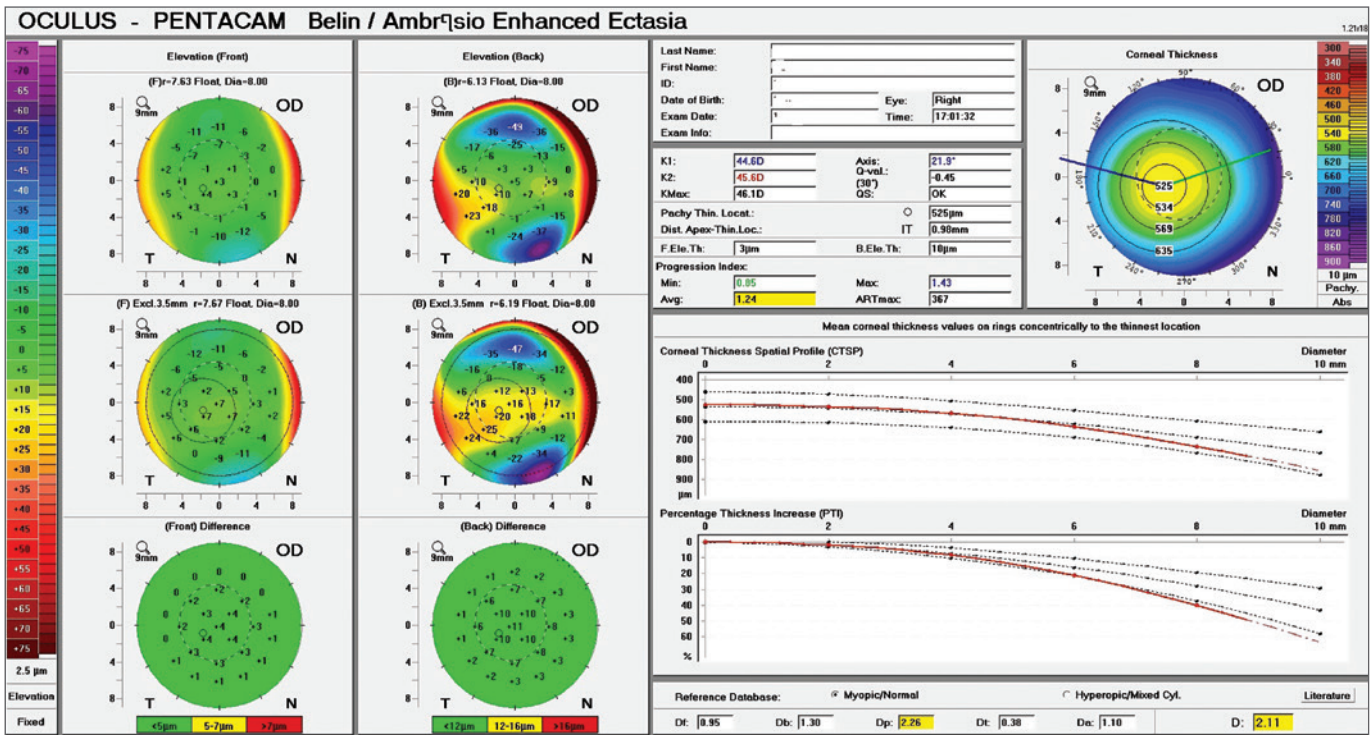
בחלק הימני התחתון של המצג נראה שורה של 6 ערכים המציינים סטיות תקן, המתייחסות כל אחת למידת השונות של כל אחד מהמדדים במצג ביחס לממוצעים של קרניות תקינות במסד נתונים גדול של אוכלוסיה נורמלית (תמונה 4).

הערך הראשון (Df) הוא סטיית התקן של מפת הגבהים הקדמית, הערך השני (Db) הוא סטיית התקן של מפת הגבהים האחורית, הערך השלישי (Dp) מתייחס ל- PTI, הערך הרביעי (Dt) מתייחס לעובי המינימלי, והערך החמישי (Da) מתייחס לסטיית התקן של ה- ART max.

הערך הימני ביותר, המצוין באות D בולטת הוא ערך ה- BAD-D או ה Final D, והוא סטיית התקן המשוקללת של כל 5 הערכים הקודמים בפאנל סטיות התקן. ערך זה לבדו נותן מידע מסכם לגבי מידת השונות של הקרנית על כל מדדיה ביחס למסד נתונים של קרניות נורמליות.<sup>2</sup>

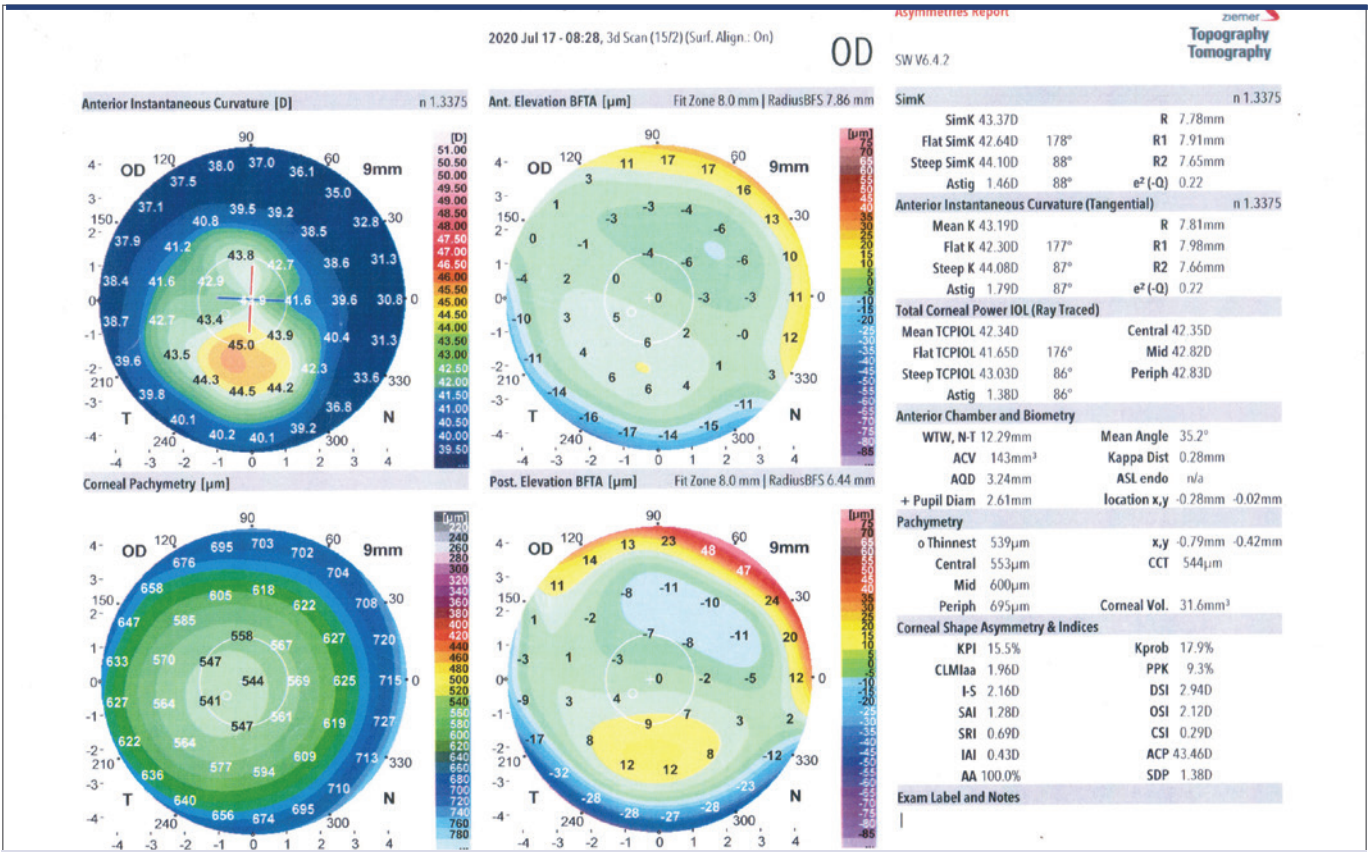


תמונה 10א – תמונת Galilei מדגימה inferior steepening עם מדדי KPI ו-Kprob מעל ערכי הסף לקרנית פרה-קרטיקובית.



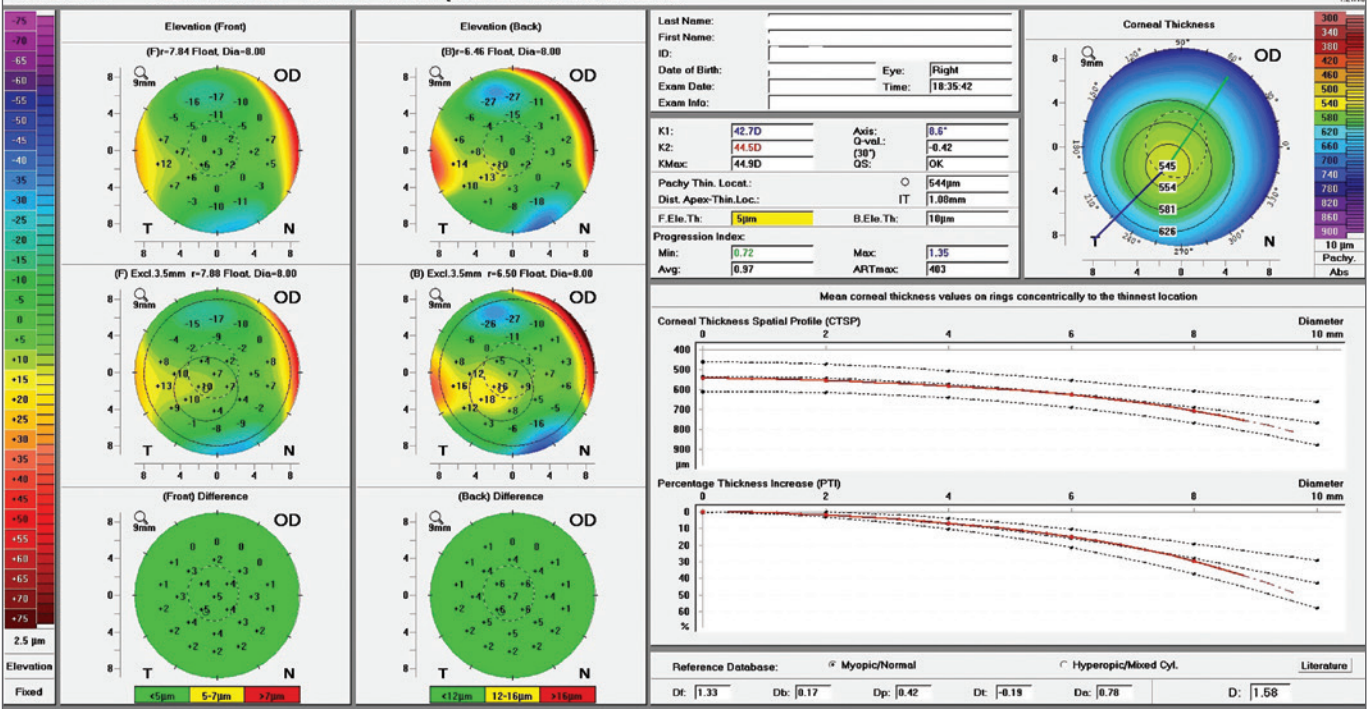
תמונה 10ב – תמונת Pentacam של אותה קרנית מדגימה PTI גבולי (Avg progression index = 1.24) ו-BAD-D גבולי (2.11). שני אמצעי ההדמיה מסכימים שמדובר בקרנית גבולית עם סיכון בינוני לאקטזיה.

« המשך בעמוד הבא »



תמונה 11א – תמונת Galilei של inferior steepening. מדדי ה KPI, Kprob, DSI ו-OSI נמצאים מעל ערכי הסף לפרה-קרטוקונוס.

OCULUS - PENTACAM Belin / Ambręs Enhanced Ectasia



תמונה 11ב – תמונת Pentacam של אותה קרנית מדגימה מדדים תקינים.

הממוצע (בטבעת שבין 3-6 מ"מ) המקיפה את המרכז. ערך זה נמוך בקרניות תקינות וגבוה בקרניות קרטוקוניות. ל-CSI ערך אבחנתי מצויין באבחנה בין קרניות קרטוקוניות ונורמליות, אבל ערך נמוך יותר באבחנת קרניות פרה-קרטוקוניות. ערך הסף לקרנית נורמלית הוא 0.7 ולקרנית פרה-קרטוקונית הוא 0.9.

2. ה-DSI (Differential Sector Index) מדגים את מידת האסימטריות על פני הקרנית. משטח הקרנית נחלק ל-8 סקטורים של  $45^{\circ}$  כ"א, והכח הקרטומטרי האקסיאלי מחושב לכל סקטור. ההבדל המקסימלי בין כל 2 סקטורים מוגדר כ-DSI. מדד זה עולה ככל שיש יותר קמירות הקפית. ערך הסף לאבחנת קרטוקונוס הוא 3.26, ולאבחנת פרה-קרטוקונוס הוא 1.73.

3. ה-OSI (Opposite Sector Index) מציג את הפער הגדול ביותר בכח הקרטומטרי האקסיאלי בין כל 2 סקטורים מנוגדים זה לזה. גם ה-OSI מאבחן היטב קרטוקונוס אך לא יעיל באבחון פרה-קרטוקונוס. ערך הסף לקרטוקונוס הוא 2.04 וערך הסף לפרה-קרטוקונוס הוא 1.85.

4. ה-SRI (Surface Regularity Index) הוא סכום הכוחות לאורך 256 סמי-מרידיאנים (רדיוסים) ב-10 טבעות מרכזיות על פני הקרנית. מדד זה מציג אי סדירויות מקומיות בקרנית. ערך השווה ל-0 מדגים קרנית עם שטח פנים חלק. ערכים מתחת ל-1.55 נחשבים לתקינים. ערך זה רגיש ומדויק לאבחנת קרטוקונוס ופרה-קרטוקונוס, והוא שווה ערך ל-BAD-D של הפנטקאם בחשיבותו.<sup>7</sup>

5. ה-IAI (Irregular Astigmatism Index) מתאר את השונות בכח האקסיאלי בין טבעות מרכזיות לאורך כל מרידיאן. השונות בכח הקרטומטרי לאורך כל מרידיאן מחושבת לכל שטח הקרנית, וממוצע השונות מוגדר כ-IAI.

6. ה-SAI (Surface asymmetry index) הוא ההפרש בכח הקרטומטרי בין נקודות הפוכות ב-128 מרידיאנים. מדד זה נחשב למדד הטוב ביותר לאבחנת קרטוקונוס בין כל מדדי הגליליי.

7. ה-KPI (Keratoconus Prediction Index) מחשב את הסיכוי באחוזים לקרטוקונוס ע"י ניתוח המידע הטופוגרפי של משטח הקרנית הקדמי. מדדים אלו כוללים את הקרטומטריה המחושבת (simulated keratometry), ה-CSI, ה-DSI, ה-OSI, ה-IAI, וה-SAI. ערכים בין 0-10% מצביעים על קרנית תקינה או חשודה, ערכים בין 10-30% מצביעים על קרטוקונוס או קרנית חשודה, וערכים מעל 30% מצביעים על pellucid marginal degeneration.

8. ה-CLMI (Cone Location and Magnitude Index) מאפיין את איזור הקמירות הגבוהה ביותר בקרנית, ע"י חישוב ההבדל בין האיזור הקמור ביותר ושאר איזורי הקרנית. חישוב זה נחלק לשניים: M1 – ההבדל בין כל נקודות הקמירות הנמצאות בתוך עיגול שקוטרו 2 מ"מ והנמצא בשיא קמירות הקרנית ובין כל שאר הנקודות מחוץ לעיגול זה; M2 – ההבדל בין כל הנקודות בתוך עיגול של 2 מ"מ

אחורית תקינה ו-PTI תקין, וסטיית תקן סופית תקינה, ברור שלא מדובר כאן בקרנית עם נטיה לאקטזיה, ולכן ניתן לבצע ניתוח רפיקציה במועמד זה.

### מקרה 3 (תמונות 7 א-ב)

בת 34, לאחות יש קרטוקונוס. הרפיקציה בעין ימין  $2.50 \times 50^{\circ}$  / -2.75 ובעין שמאל  $3.50 \times 115^{\circ}$  / -3.00. עובי הקרנית המינימלי  $509 \mu\text{m}$  בעין ימין ו- $510 \mu\text{m}$  בעין שמאל. מפת הקמירויות מדגימה אסטיגמציה לא רגולרית, בתבנית הנקראת AB-SRAX (עניבת פרפר לא סימטרית עם עיוות צירי בין שני מרכיבי הציר הקמור). מצג ה-BAD מדגים מספר מדדים פתולוגיים: הרמה משמעותית במפת הגבהים הקדמית (עיגול אדום) במפה התחתונה (משמאל) וסטיית תקן משמעותית בהתאם (Df); ה-Avg Progression Index הוא 1.30 (מואר באדום) וסטיית תקן משמעותית (Dp); ה-ART max מעט נמוך והוא 295 וסטיית תקן גבולית (Da); ולבסוף ה-BAD-D הוא 3.26 ומואר באדום. מדובר כאן בתבנית פרה-קרטוקונית שעלולה להתקדם לאקטזיה לאחר ניתוח רפיקציה. מכיוון שהרפיקציה יציבה, ולאור הגיל (34) יש סיכוי שהמצב ימשיך להיות יציב ולא יתקדם לקרטוקונוס. תבנית זאת נקראה בעבר forme-frust keratoconus.<sup>6</sup> מצג ה-BAD נותן לנו במקרה זה כלי חשוב כדי לפסול מועמד כזה לניתוח רפיקציה. מצד שני, מכיוון שמדובר במצב יציב, אין צורך לבצע טיפול בקשרי צילוב (קרס לינקינג) ודי במעקב הדוק עם מיפויים חוזרים.

### מקרה 4 (תמונות 8 א-ב)

בן 17, הופנה בחשד לקרטוקונוס בעקבות ירידה בראייה בשתי העיניים מזה מספר חודשים. במשפחה יש לדוד קרטוקונוס. הרפיקציה היתה  $2.00 \times 100^{\circ}$  / +4.50 בעין ימין, מתוקנת ל- $6/7.5$  ו- $0.50$  / plano  $10^{\circ}$  X בעין שמאל, מתוקנת ל- $6/6$ . עובי הקרנית המינימלי היה  $516 \mu\text{m}$  מימין ו- $536 \mu\text{m}$  משמאל. הסיפור המשפחתי, הגיל, הרפיקציה בעין ימין, חדות הראייה המיטבית שכבר ירדה ל- $6/7.5$ , והבדל משמעותי בעובי הקרנית המינימלי בין שתי העיניים – כל אלו הם סימנים קליניים המחשידים לקרטוקונוס. מבט במפת הקמירויות (תמונה 8א) מדגים קמירות מקסימלית של 53.6 ד', אסימטריה גבוהה מאוד בין החלק התחתון לעליון במרכז הקרנית, וערכים גבוהים במפות הגבהים הקדמית והאחורית. מבט במצג ה-BAD מדגים תמונה אופיינית לקרטוקונוס: עיגולים אדומים במפות הגבהים התחתונות, ה-Avg Progression Index הוא 1.46 (גבוה מאוד ומואר באדום), ה-ART max הוא 235 (נמוך) ומואר בצהוב. סטיות התקן של מפות הגבהים הקדמית, האחורית וה-PTI גבוהות ומוארות באדום, וסטיית התקן הסופית היא 6.12. אין ספק שמדובר כאן בקרטוקונוס במטופל צעיר, מצב שהחל להתקדם לאחרונה, והמחייב טיפול בהקדם בקשרי צילוב של הקרנית.

### מדדים טופוגרפיים של ה-Galilei

למערכת ה-Galilei שורה של מדדים טופוגרפיים (תמונה 9).<sup>3</sup> לכל אחד מהמדדים הללו יש ערכי סף (cut-off values) המבחינים בין קרנית תקינה וקרנית חשודה.

1. ה-CSI (Central Surround Index) הוא ההבדל בין כח הקרנית המרכזי הממוצע (באיזור ה-3 מ"מ המרכזי) וכח הקרנית ההיקפי

« המשך בעמוד הבא »

**מקרה 6** (תמונות 11 א-ב)

בתמונה 11א נראית מפת גלילי המדגימה inferior steepening משמעותי (שמאל למעלה). העובי המינימלי תקין (539 מיקרון). מפת הגבהים האחורית מראה איזור תחתון עם הרמה. מדדי הגלילי השונים מצביעים בחלקם על קרנית חשודה: ה- $KPI=15.5\%$  (מעל ערך הסף 1.73 לאבחנת פרה-קרטוקונוס אך מתחת ל-3.26 לאבחנת קרטוקונוס), ה- $Kprob=17.9\%$  (מעל 11.6%), ה- $DSI=2.94$  (מעל ערך הסף 1.73 לאבחנת קרטוקונוס), ה- $OSI=2.12$  (מעל ערך הסף 2.04 לאבחנת קרטוקונוס). לעומת זאת, תמונה 11ב מדגימה מצג BAD של פנטקאם של אותה קרנית. המדדים השונים תקינים לחלוטין, ועל פי מפה זאת אין מניעה לבצע ניתוח רפרקציה.

**בסיכום**

אמצעי ההדמייה המשולבים מבוססי שיימפלוג ופולסידו נותנים למנתח הרפרקציה כלים מגוונים להחלטה האם הקרנית שלפניו תקינה או חשודה, לקראת ההחלטה על התאמה לניתוח רפרקציה. המדדים השונים מבוססים על שיטות ניתוח שונות הקשורות במפות הגבהים, מפות העובי, מיקום שיא הקמירות, מידת הסימטריות או חוסר הסימטריות של הקרנית, וחשובי אי-רגולריות שונים. לכל מדד יש רגישות וייחודיות שונים. חשוב להבין שמכשירי הדמייה שונים מנתחים בצורה שונה את המידע, ולעיתים מגיעים למסקנות שונות. לכן חשוב להסתמך על יותר מאמצעי הדמייה אחד, להתייחס לשילוב המידע המתקבל ממספר רב של מדדים, ולהביא בחשבון גם את התמונה הקלינית. זאת כוללת גורמים כגון הרפרקציה ויציבותה לאורך השנים, גיל המועמד, עובי הקרנית המינימלי והמחושב לאחר האבלציה, מחלות משטח העין כגון דלקת עיניים אלרגית וסיפור משפחתי. למרות אמצעי ההדמייה וריבוי המדדים, אין בסופו של דבר תחליף לניסיון הקליני של המנתח. ★

הנמצא  $180^\circ$  מהעיגול הראשון ובין כל הנקודות הנמצאות מחוץ לעיגול. ערך הסף בין קרנית תקינה לקרטוקונוס הוא 1.82.

9. ה- $Kprob$  (Keratoconus probability) מתייחס לרגישות ולייחודיות של ה- $KPI$ . ערך זה מחושב מניתוח סטטיסטי של קרניות נורמליות וקרטוקוניות. ערך הסף לאבחנה של קרטוקונוס הוא 25.55 ולאבחנה של פרה-קרטוקונוס הוא 11.60.

מדדי הגלילי מחייבים ידע של ערכי הסף של כל מדד בנפרד, והבנת החשיבות היחסית של כל אחד מהם בהחלטה לגבי מידת התקינות או החשד שיש בכל קרנית. בתמונה 9 נראית תמונת גלילי של קרנית של מועמד בן 32 לניתוח רפרקציה. מפת הקמירויות מדגימה אסטיגמציה רגולרית. מפות הגבהים תקינות. מדדי הגלילי השונים נראים מצד ימין, וכולם מתחת לערכי הסף, כך שמדובר בקרנית תקינה.

**מקרה 5** (תמונות 10 א-ב)

בתמונה 10א נראית מפת גלילי של מועמד לניתוח רפרקציה, המדגימה inferior steepening משמעותי במפת הקמירות (שמאל למעלה). מפת הגבהים האחורית מדגימה איזור תחתון של הרמה משמעותית. מדדי הגלילי מראים על  $KPI = 13.9\%$  (מעל ה-10% של ערך תקין);  $Kprob = 14.7\%$  (מעל 11.60% לקרנית פרה-קרטוקונית); ה- $SRI=0.69$  (תקין); ה- $OSI=1.48$  (תקין); ה- $CLMI=1.47$  (תקין). מדדים אלו שחלקם גבוליים וחלקם תקינים מעלים חשד שמדובר בקרנית גבולית לניתוח רפרקציה. תמונה 10ב מדגימה תמונת ה-BAD של פנטקאם של אותה העין. ניתן לראות שמפות הגבהים תקינות, ורק ה-Average progression index = 1.24 הוא גבולי, וסטיית התקן שלו (2.26, מוארת בצהוב) גבולית. ה-BAD-D הוא 2.11. גם ערכים אלו, מצביעים על קרנית חשודה בעלת מאפיינים גבוליים, אך לא מדובר כאן בקרטוקונוס.

**REFERENCES** »

1. Ambrósio R, Valbon BF, Faria-Correira F, Ramos I, Luz A. Scheimpflug imaging for laser refractive surgery. Curr. Opin. Ophthalmol. 2013;
2. Motlagh MN, Moshirfar M, Murri MS, et al. Pentacam® Corneal Tomography for Screening of Refractive Surgery Candidates: A Review of the Literature, Part I. Med hypothesis, Discov Innov Ophthalmol J 2019;
3. Moshirfar M, Motlagh MN, Murri MS, Momeni-Moghaddam H, Ronquillo YC, Hoopes PC. Galilei Corneal Tomography for Screening of Refractive Surgery Candidates: A Review of the Literature, Part II. Med hypothesis, Discov Innov Ophthalmol J 2019;
4. Belin M, Khachikian S, Jr. R. Keratoconus / Ectasia Detection with a Modified (Enhanced) Reference Surface Belin / Ambrósio Enhanced Ectasia Display III. In: Elevation Based Corneal Tomography. 2012.
5. Ambrósio R, Alonso RS, Luz A, Coca Velarde LG. Corneal-thickness spatial profile and corneal-volume distribution: Tomographic indices to detect keratoconus. J Cataract Refract Surg 2006;
6. Saad A, Gatinel D. Topographic and tomographic properties of forme fruste keratoconus corneas. Investig. Ophthalmol. Vis. Sci. 2010;
7. Shetty R, Rao H, Khamar P, et al. Keratoconus Screening Indices and Their Diagnostic Ability to Distinguish Normal From Ectatic Corneas. Am J Ophthalmol 2017;