

אמצעי הדמיה ממוחשבים לאבחון ומעקב אחר גלאוקומה

עקרונות פיזיקליים של כל מכשיר

HRT: Heidelberg Retinal Tomograph. 1. סריקת ה-HRT היא טומוגרפיה ממוחשבת של אזור ראש עצבי-הראייה (4). זהה בעצם בדיקת CT המתבצעת באמצעות גלי אוּרְלִייזר (בניגוד לקרינטת הרנטגן במכשיר ה-CT). השימוש בגלוי אוּרְלִייזר במקום קרני רנטגן מאפשר רזולוציה גבוהה בהרבה מזו המאפשרת ב-CT או MRI. המכשיר דוגם מספר עשרות חתכים בעומקם שונים, במקביל לפניו שטח הרشتית, כאשר מכל חתך מתקיים מידע על משטח פניו בראש העצב-הראייה וה-*inner limiting membrane* (inner limiting membrane) המשci של פניו הרشتית וראש העצב-הראייה.

RTA: Retinal Thickness Analyzer. 2. אלומת אור בצורת סדק (slit), מוקونة על הרشتית מן הצד, ומכך מתקובלים שני קווים אוּרְלִייזרים המציגים את פני-השתה הקדמיים והאחוריים של הרشتית (5). המרחק שבין שני קווי-האור המתקובלים הוא עובי הרشتית. העיקרון שלפיו מבוצעת הסריקה דומה לפעולה שבה אנו סורקים ומתרשםים מעובי הקרנית בעורמת מנורט-סדק בעזרת אלומה צרה המוקרנת מהצד. על-ידי סריקת הקוטב האחורי ניתן למדוד את עובי הרشتית בכל נקודה ונקודה ולהציג את המידע כמפה טופוגרפית. נוסף על כך קיימת אפשרות לסרוק ולהציג גם את פני השטח של ראש העצב-הראייה.

OCT: Optical Coherence Tomography. 3. סריקת ה-OCT זהה למדי לעיקרון הסריקה באמצעות ultrasound, אלא שבמקום גלי-קול משתמשים במכשיר זה בגליאור ליזר, מכל מתקבלת רזולוציה גבוהה בהרבה מזו המאפשרת בבדיקה על-קולית. סריקה באמצעות ה-OCT מורכבת מכמה מאות

הקדמה

האבחון וالمعקב אחר חולי גלאוקומה כולל איסוף מידע בשלושה מישורים: לחץ תוך-עיני, שדה-הראייה ומצב עצב הראייה ושכבות ה-RNFL (Retinal Nerve Fiber Layer). בעבר השניים הראשונים קיימים מדדים מסוימים המקובלים על כלל רופאי העיניים (למשל לחץ במ"מ כספית, ומדדים של שדה-הראייה הממוחשב, כגון: glaucoma hemifield test, pattern standard deviation). מאידך, הערכה ומדידה מסוימת של ראש עצבי-הראייה (הדיםקה) ושכבות ה-RNFL (שכבות סיבי האקסונום היוצרים את עצב הראייה) היא קשה ביותר ומתאפשר רק על ידי שימוש בטכנולוגיות ממוחשבות חדשות (1), שבהן דנה סקירה זו.

ראשית מתעוררת השאלה: מדוע זקנים אנו למדידה מסוימת של הנזק לדיסקה ולשכבות ה-RNFL? יש לכך מספר סיבות:

1. ראשית ידוע, כי אבדן של עד 40% מתאי הגנגליון עשוי שלא להתבטא כלל בשדה-הראייה הסטנדרטי (3,2). לעומת זאת, כי מחלת הגלאוקומה תאובחן לפני התראחות נזק כה נרחב. גלאוקומה תחלהית שבה ניתן לאבחן פגיעה סטרוקטוראלית, אך שדה-הראייה עדין. תקין נקראת: Pre-perimetric glaucoma.

2. לעיתים קרובות המידע שנאסף לגבי חולה מסוים (לגביו הלחץ התוך-עיני ושדה-הראייה) אינו שלם או אמין. ככל שייהי בידינו מידע רב יותר המסכם צדדים שונים של המחלת, כך יכול علينו לאבחן וגם לעקוב אחר חולי גלאוקומה.

3.Undifferentiated, כי אבחון גלאוקומה יסתמך בכל הנitin על מידע אובייקטיבי. בדיקות הדמיה, בניגוד לבדיקת שדה-הראייה הן אובייקטיביות, מהירות, ובעלויות reproducibility גובה יותר.

ד"ר איתן בלומנטל

מנהל שירות הגלאוקומה,
מחלקת עיניים, מרכז
 רפואי הדסה, ירושלים

בטכנולוגיות האחרות (מתකבל מיפוי פנוי השטח העליון בלבד).

RTA: Retinal Thickness Analyzer. 2. מכשירי ה-RTA הראשונים תוכנוו במטרה לאבחן את מידת התעבות הרשתית בסוכרת ובמלחות וסקולריות אחרות. רק שנים מספר מאוחר יותר החלה החבורה המיצרת את המכשיר להתעניין באפשרות לאבחן גלאוקומה, על ידי מדידות עובי הרשתית באזור המקיים את ה-fovea (7). זהה גישה אבחונית חדשה השונה מהנהוג עד כה, כיון שאינה מתמקדת בשכבה ה-RNFL, או בטופוגרפיה ראש עצב הראייה, אלא מתמקדת בשינויים של עובי הרשתית המיצגים אבדן שכבות של גרעיני תא גנגליון. עם זאת לטכנולוגיה זו, כמו גם ל-HRT ולי-OCT, יש את יכולת למדוד את פנישתו ראש עצב הראייה.

OCT: Optical Coherence Tomography. 3. טכנולוגיית ה-OCT התפרסמה לראשונה ביכולתה להציגים *in-vivo* פתולוגיות של הרשתית (כגון חורים מקולריים) ברזולוציה גבוהה. בהמשך פותחו אלגוריתמים המאפשרים למדוד את עובי ה-RNFL. עיקר השימוש כיום בעולם ב-OCT הוא לצורכי אבחון מחלות רשתית. עם זאת לאחרונה סיימה חברת Humphrey-Zeiss לאסוף *normative database* שמאפשר לבצע אנליזות סטטיסטיות לגלאוקומה.

GDx: Scanning laser polarimetry. 4. מכשיר ה-GDx מסוגל לקבל מפה ברזולוציה גבוהה של עובי ה-RNFL, בקוטר האחורי, בשטח של $20 \times 40^\circ$. מפה זו ניתן ללמוד על פיזור ה-RNFL מסביב לעצב הראייה. המודל האחרון של המכשיר, הנקרא GDx-VCC (קומפנסציה) של retardation שמקורו במקטע הקדמי של העין (הקרנית והעדשה) (8). בדיקה זו, כמו גם בדיקת ה-HRT (ולעתיתים גם ה-OCT) מתאפשרת ללא הרחבת אישון.

סקרים מסוג a-mode, המציגות ביחד לחץ b-mode אחד הפורס את הרשתית תוך הדגמת השכבות השונות. מכשיר ה-OCT כולל פרוטוקולים שונים לסריקה, בהתאם למיען הנוחץ לרופא (מקולה, ראש עצבי-ראייה וכו'). לצורך אבחון ומעקב אחר גלאוקומה, שכבת הרשתית הרכונית היא ה-RNFL. דיקן המדידה של שכבה זאת תלוי, בין השאר, באლגוריתמים מורכבים של edge detection,edge detection גבולות שכבת ה-RNFL.

GDx: Scanning Laser Polarimetry. 4. העיקרון הפיזיקלי שעליו מושתתת פעולתו של מכשיר ה-GDx הוא המוכר פחות מבין הארבעה, ואין מכשיר הדומה לו באופן פעולתו ברפואת העיניים או בהדמיה רפואי. עקרון הפעולה מבוסס על כך שקרון אוRx (uniform polarization) העוברת דרך ורקמה שקופה בעלת סיידור אחד מעבורו שניינן בזווית הקיטוב (6). שניינן זה יהיה יחסית לעובי השכבה. מדידת שניינן הקיטוב (הנקרא: retardation) מאפשרת לקבוע את עובי שכבת ה-RNFL בכל נקודה ונקודה ברשתית. במכשירי הדור האחרון (GDx-VCC) קיימים מגננון המבטייה, כי הקיטוב של הקרנית והעדשה ינותרו במלואם.

אפקטים קליניים של כל מכשיר

HRT: Heidelberg Retinal Tomograph. 1. זהה הטכנולוגיה הותיקה והיציבה ביותר להדמיה בגלאוקומה. במונח "יציבה" כוונתי היא כי מזה מספר שנים רב לא הוכנסו שינויים משמעותיים בטכנולוגיה (או באופן הבדיקה ועיבוד הנתונים), כך שנניתן להשוות בדיקות HRT עוקבות שהתבצעו בהפרש של מספר שנים זו מזו. במחקר ה- OHTS בוצעו לחلك גדול מהמשתתפים בדיקות HRT ונאסף חומר רב שנמצא כתע בתאיליזה והעשי לתרום להבנת התקדמות מחלת הגלאוקומה (conversion/progression). עם זאת יש לציין, כי מידת המידע המתתקבל בבדיקה HRT היא פחותה מהמתתקבל

באבחנה (בריא לועמת חולה), קיימות גם אנליזות מורכבות העוננות לשאלת: האם מצב העין השתנה מאז הסיריקה הקודמת (did progression occur)? יש לציין, כי במרפאה העוסקת בחולי גלאוקומה רוב הבדיקות (הן הדמיה והן שdot-Draya) מכוונות לשאלת של התקדמות המחלת ורק מיעוטן מכוונות לאבחנת המחלת. באירור 1 (ראה עמוד 32A) מוצגות בדיקות של עין בריאה וعين עם גלאוקומה, כפי שהן מתකלות מכל אחד מרבעת המכשירים שתוארו בסקירה זו.

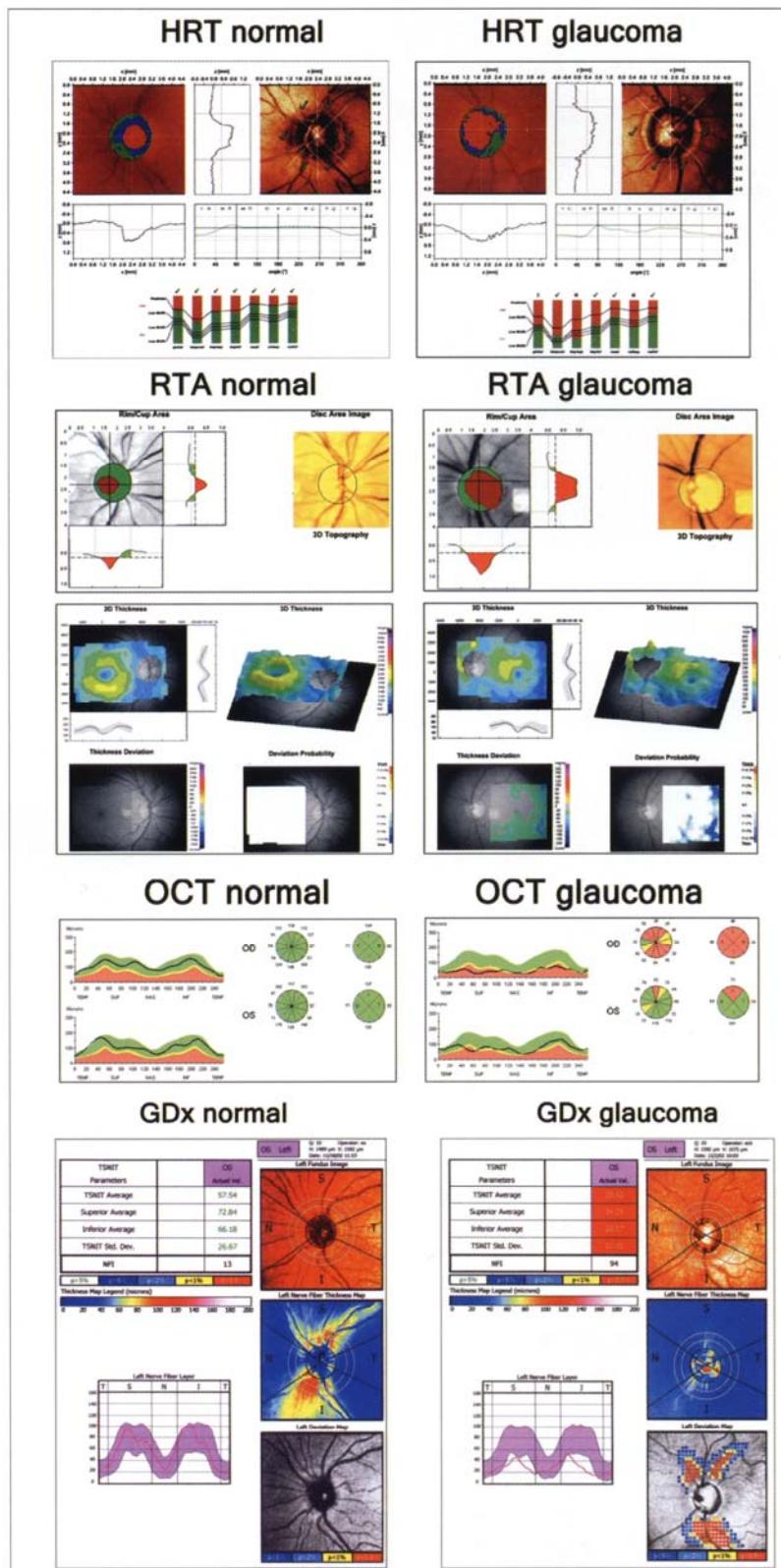
פיינוח בדיקות הדמיה ממוחשבת

פיינוח הבדיקה מבוצע בעזרת normative database שבעזרתו מושווית תוצאות הבדיקה, המוצגות בערכיהם מספריים לפי רבעים (quadrants) שונים, או hours, מסביר לעצב הראייה, לעורכים הצפויים להימצא בעין בריאה בקבוצת הגיל של הנבדק. בחלק מהמכשורים קיימים אלגוריתמים מורכבים (לרוב הנשענים על חישובים מסווג neural networks) כדי לנבא מה הסבירות שהعين בראיה או חולת גלאוקומה. נוסף לאנлизות העוסקות

References

1. Blumenthal EZ, et al. Assessment of the retinal nerve fiber layer in clinical trials of glaucoma neuroprotection. *Surv Ophthalmol* 2001;45(Suppl 3):S305-12;discussion S332-4
2. Harwerth RS, et al. Ganglion cell losses underlying visual field defects from experimental glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1999;40:2242-50
3. Quigley HA, et al. Optic nerve damage in human glaucoma. III. Quantitative correlation of nerve fiber loss and visual field defect in glaucoma, ischemic neuropathy, papilledema, and toxic neuropathy. *Arch Ophthalmol* 1982;100:135-46
4. Weinreb RN, et al. Quantitative assessment of the optic nerve head with the laser tomographic scanner. *Int Ophthalmol* 1989;13:25-9
5. Asrani S, et al. Noninvasive mapping of the normal retinal thickness at the posterior pole. *Ophthalmology* 1999;106:269-73
6. Knighton RW, et al. Microtubule contribution to the reflectance of the retinal nerve fiber layer. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1998;39:189-93
7. Zeimer R, et al. Quantitative detection of glaucomatous damage at the posterior pole by retinal thickness mapping. A pilot study. *Ophthalmology* 1998;105:224-31
8. Zhou Q, et al. Individualized compensation of anterior segment birefringence during scanning laser polarimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43:2221-8

תמונה מתוך המאמר: "אמצעי הדמיה ממוחשבים לאבחון ומעקב
אחר גלאוקומה" עמוד 18



איו. 1. תדפסים של סדריות ממוחשבות שבוצעו בכל אחד מארבעה מכשירי הדמיה.
יש לציין, כי חולים שונים נטרקו בכל אחד מהמכשירים.