



การตรวจลานสายตาในผู้ป่วยต้อหิน (visual field testing in glaucoma patients)

กิตติยา รัตนวงศ์ไพบูลย์

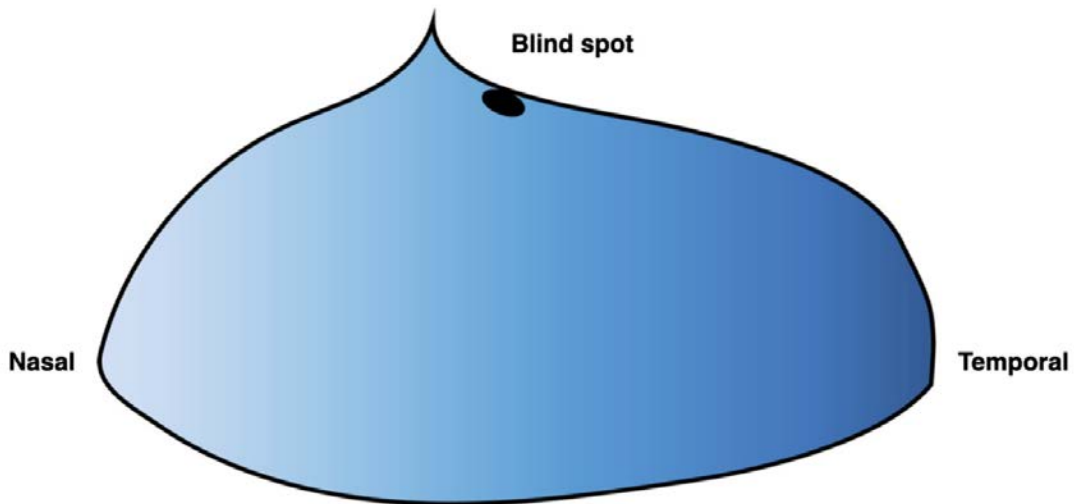
บทนำ

การตรวจลานสายตา ถือเป็นการตรวจการทำงานของเส้นประสาทตาที่สำคัญอย่างหนึ่ง มีประโยชน์ทั้งในการวินิจฉัย การตรวจติดตาม และการพยากรณ์โรค โดยเฉพาะในโรคต้อหิน ซึ่งเป็นโรคของเส้นประสาทตาที่ทำให้เกิดภาวะตาบอดถาวรอันดับหนึ่งทั่วโลก ลานสายตาผิดปกติในโรคต้อหินมีลักษณะจำเพาะต่อโรค ดังนั้นการเข้าใจความสำคัญของการตรวจ หลักการ วิธีการ ตรวจ การแปลผล และการประยุกต์ใช้ในการดูแลผู้ป่วย ช่วยนำไปสู่การดูแลผู้ป่วยอย่างเหมาะสม เพื่อช่วยชะลอหรือลดความรุนแรงของโรคต่อไป

ลานสายตา (visual field) คือ การตรวจการทำงานของเส้นประสาทตาในรูปแบบหนึ่ง ซึ่งจะเน้นการตรวจความกว้างของการมองเห็น (field of vision) และความไวต่อแสง (light sensitivity) ในแต่ละพื้นที่ของการมองเห็น ในคนปกติจะตรวจพบความกว้างของการมองเห็นในลานสายตาทางด้านบน (superior field) ประมาณ 60 องศา ด้านในฝั่งจมูก (nasal field) ประมาณ 60 องศา ด้านล่าง (inferior field) ประมาณ 70-75 องศา และด้านนอกฝั่งหางตา (temporal field) ประมาณ 100-110 องศาจากจุดศูนย์กลางภาพตามลำดับ ความไวต่อแสงสูงที่สุดที่ตรงกลางของภาพ ซึ่งตรงกับตำแหน่งจุดรับภาพชัด (fovea) ในจอตา และมีความไวลดลงจากจุดตรงกลางออกไปทางด้านรอบนอก (รูปที่ 1) ในลานสายตาของคนปกติจะพบจุดบอด (blind spot) ที่ระยะประมาณ 15 องศาทางด้าน temporal ต่อจุดรับภาพชัด ซึ่งจุดบอดจะเป็นตำแหน่งเดียวกับขั้วประสาทตาในจอตา ตำแหน่งจุดบอดจะไม่สามารถรับภาพหรือแสงที่กระตุ้นได้

คำนิยามของลานสายตาได้ถูกอ้างถึงโดยจักษุแพทย์ชาวสกอตแลนด์ Harry Moss Traquair ในปี ค.ศ. 1927 โดยให้คำจำกัดความของลานสายตาคือ an island of vision or hill of vision surrounded by a sea of blindness⁽¹⁾ (รูปที่ 1) โดย hill of vision หรือภูเขาการมองเห็นจะมีจุดสูงที่สุดตรง

กลางของลานสายตา พบจุดบอดเป็นหลุมที่ด้านนอกต่อ ยอดของภูเขา และมีความชันของภูเขาลาดลงไปตามรอบนอก โดยขนาดของภูเขาจะมีความกว้างเท่ากับความกว้างของการมองเห็นและความสูงของภูเขาเท่ากับค่าความไวต่อแสงในแต่ละตำแหน่งที่สนใจ



รูปที่ 1. แสดง hill of vision ของตาขวา

ประโยชน์ของลานสายตา

การตรวจลานสายตา มีประโยชน์เพื่อใช้ช่วยในการวินิจฉัย ติดตามการดำเนินไปของโรค และติดตามผลการรักษา โดยมีประโยชน์ในโรคหรือภาวะดังต่อไปนี้

1. โรคต้อหิน (glaucoma) ปัจจุบันการตรวจลานสายตาถือเป็นหนึ่งในการตรวจมาตรฐานทั้งในการวินิจฉัยและติดตามการดำเนินไปของโรค โดยจักษุแพทย์จะทำการตรวจลานสายตา ประเมินร่วมกับการตรวจโครงสร้างของหัวประสาทตาเป็นหลัก

2. โรคทางจักษุประสาท และโรคทางระบบประสาท (neuro ophthalmologic/neurological disease) ได้แก่ โรคที่มีความผิดปกติของสมองส่วนที่เกี่ยวข้องกับทางเดินของเส้นประสาทการมองเห็น ได้แก่ optic nerve, optic chiasm, optic tract รวมทั้งเส้นใยประสาทที่ต่อเนื่องไปยังสมองส่วนหลังที่ใช้ในการมองเห็น (occipital lobe) โดยความผิดปกติในแต่ละส่วน จะให้ความผิดปกติของลานสายตาที่แตกต่างกัน ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในส่วนหน้าต่อ optic chiasm จะทำให้เกิดความผิดปกติในลานสายตาข้างเดียวกับรอยโรค ส่วนความผิดปกติที่เกิดขึ้นตั้งแต่บริเวณ optic chiasm ถึงในส่วนสมอง จะทำให้เกิดความผิดปกติในลานสายตาทั้งสองตาชนิด hemianopia โดยความผิดปกติสามารถตรวจพบได้ในด้านขวา (right homonymous hemianopia) ด้านซ้ายของลานสายตา (left homonymous hemianopia) หรือทั้งด้านขวาและซ้าย (bitemporal hemianopia)

ขึ้นกับตำแหน่งรอยโรค ตัวอย่างโรคทางจักษุประสาท เช่น optic glioma, meningioma, pituitary adenoma เป็นต้น

3. โรคจอตา (retinal disease) ได้แก่ retinal vein occlusion, retinitis pigmentosa, maculopathy โดยเห็นความผิดปกติของลานสายตาเกิดขึ้นสัมพันธ์กับความผิดปกติที่พบในจอตา

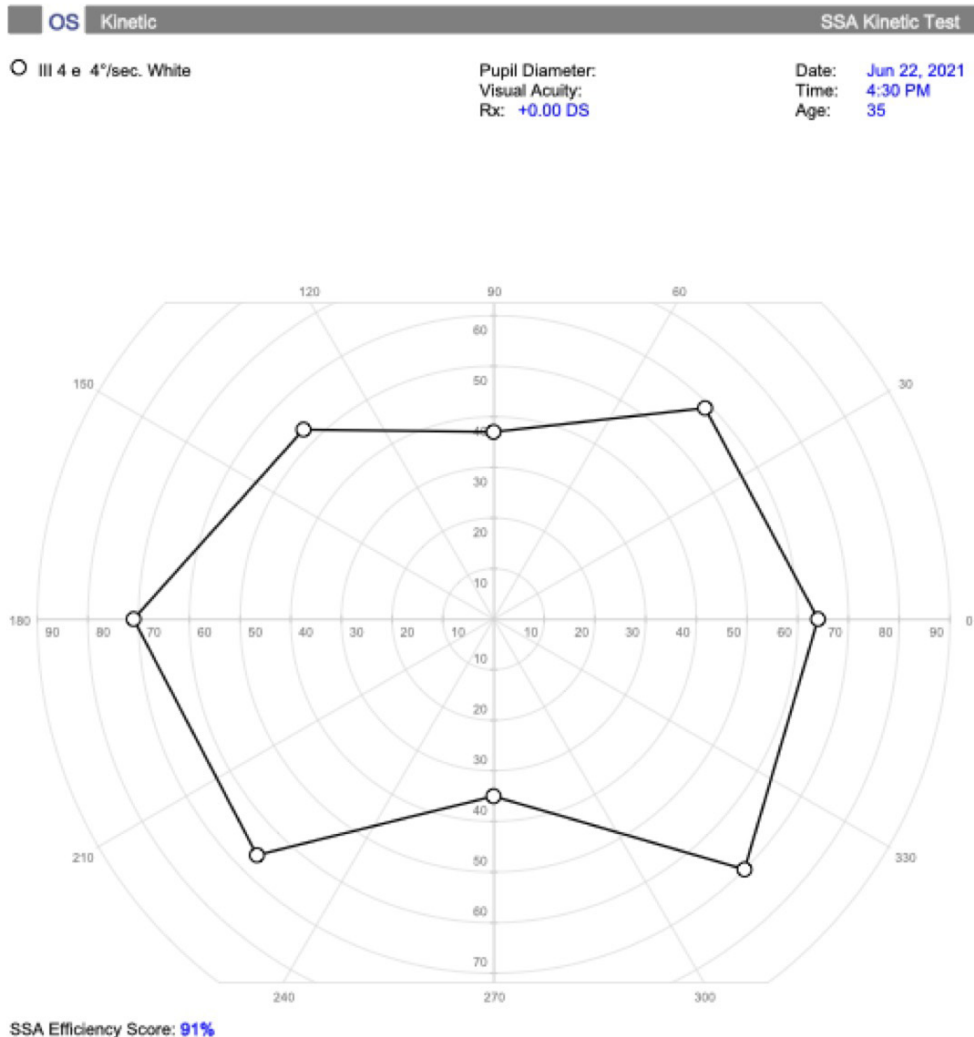
4. เพื่อการประเมินความพิการทางสายตา (visual disability) หรือความสามารถในการขับรถ โดยอาจเป็นส่วนหนึ่งของการทดสอบเพื่อประกอบการยื่นขอใบอนุญาตขับรถหรือยานพาหนะอื่น ๆ

5. เพื่อประเมินผลแทรกซ้อนจากการใช้ยาบางชนิด เช่น chloroquine maculopathy เป็นต้น

นอกจากนี้ต้องพึงระวังในผู้ป่วยบางกลุ่มที่อาจมีความผิดปกติมากกว่าหนึ่งอย่าง ซึ่งทำให้การแปลผลลานสายตาต้องใช้ความระมัดระวังมากขึ้น

ชนิดของการตรวจลานสายตา

1. Kinetic perimetry เป็นการตรวจลานสายตาโดยการขยับแสงกระตุ้นหรือเป้าหมายที่มีขนาดคงที่ (fixed size target) จากด้านรอบนอกเข้ามายังจุดศูนย์กลางภาพชัด โดยผู้รับการตรวจจะแจ้งว่าเริ่มมองเห็นแสงหรือเป้าหมายที่จุดใด เมื่อขยับเป้าหมายเดิมจากด้านรอบนอกเข้ามาในหลาย ๆ ตำแหน่ง ผู้ตรวจจะสามารถเชื่อมต่อดจุดที่ผู้รับการตรวจแจ้งว่าเริ่มมองเห็นเป็นเส้นต่อเนื่องกัน (รูปที่ 2) และเมื่อใช้เป้าหมายที่มีขนาดต่าง ๆ กัน จะทำให้เกิดเส้นวงที่มีขนาดแตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (qualitative data)

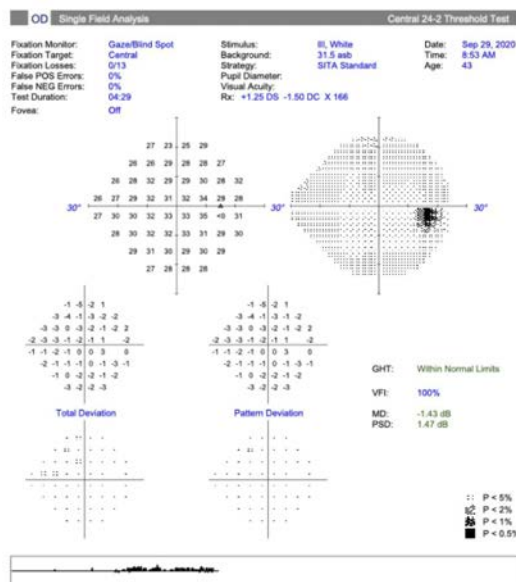


รูปที่ 2. แสดงผลการตรวจลานสายตาชนิด kinetic perimetry โดยใช้สิ่งกระตุ้น หรือ kinetic isopter III 4 e แสดงให้เห็นเป็นวงกลมสีขาว (O) ที่มีเส้นเชื่อมต่อกันแสดงขอบเขตของลานสายตา

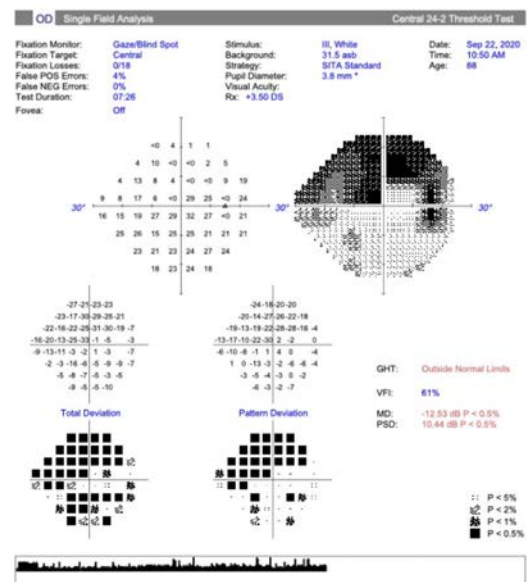
2. Static perimetry เป็นการตรวจลานสายตาที่แสงกระตุ้นหรือเป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งเดิม แต่เปลี่ยนแปลงที่ขนาดหรือความสว่างของเป้าหมาย โดยมีหลักการว่าผู้รับการตรวจควรจะเห็นเป้าหมายได้มากขึ้นเมื่อเป้าหมายมีความสว่างมากขึ้น มีขนาดใหญ่ขึ้น หรืออยู่ในตำแหน่งตรงกลางมากขึ้น เมื่อตรวจด้วยเครื่องวัดลานสายตาจะให้ข้อมูลออกมาเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ (quantitative data) ในรูปแบบความไวต่อแสง หน่วยเป็นเดซิเบล (dB) ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ในทางสถิติได้โดยเทียบกับฐานข้อมูลจากประชากรปกติ ค่าความไวแสงที่รายงานในเครื่องตรวจลานสายตาจะให้ค่าเป็น threshold sensitivity หมายถึง ค่าความไวต่อแสงที่ผู้รับการตรวจมีโอกาสเห็นได้ร้อยละ 50

ปัจจุบันการตรวจลานสายตา นิยมใช้การตรวจชนิด automated static perimetry ซึ่งเป็นการตรวจหาความไวต่อแสงในแต่ละพื้นที่ของการมองเห็นโดยใช้วิธีจำเพาะตามชนิดของเครื่องตรวจ (standardized testing algorithm) เครื่องตรวจลานสายตาที่มีหลายชนิด ซึ่งมีส่วนของชุดคำสั่งในการใช้งาน (software) แตกต่างกันตามแต่บริษัทผู้ผลิต ยกตัวอย่างเครื่องตรวจลานสายตาที่ใช้มากในประเทศไทย คือ Humphrey® Field Analyzer (HFA) โดยความผิดปกติของลานสายตาจะแสดงให้เห็นเป็นค่าตัวเลขความไวของแสงที่ลดลง และสามารถแสดงให้เห็นเป็นจุดสีดำที่มีลักษณะแตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบค่าความไวแสงของผู้รับการตรวจกับค่าความไวแสงในประชากรปกติ ทั้งนี้เพื่อให้่ายในการแปลผล (รูปที่ 3)

ก



ข



รูปที่ 3. ก. แสดงผลการตรวจลานสายตาชนิด automated static perimetry ข้างขวาในคนปกติ และ ข. ลานสายตาข้างขวาในผู้ป่วยต้อหิน โดยมีค่าความไวของแสงลดลงในลานสายตาครึ่งบน

การตรวจลานสายตา

เนื่องจากลานสายตาเป็นการทดสอบที่ต้องอาศัยความร่วมมือของผู้รับการตรวจเป็นหลัก (subjective assessment) และหลายครั้งที่การทำลานสายตา มักเป็นเรื่องที่ยากและน่าเบื่อสำหรับผู้รับการตรวจ การให้ข้อมูลก่อนเริ่มจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้ได้ผลการตรวจที่น่าเชื่อถือและนำไปใช้ทางคลินิกได้ ในการทำลานสายตาประกอบด้วยบุคคลที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 3 ราย ได้แก่

จักษุแพทย์ (ophthalmologist) อธิบายให้เห็นถึงความสำคัญของการตรวจลานสายตา ประโยชน์ ระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจแต่ละครั้ง และความถี่ในการตรวจ รวมถึงการตอบคำถาม เพื่อให้ผู้รับการตรวจคลายความกังวล และมั่นใจในการตรวจมากขึ้นด้วยหลักการตอบสนองในเชิงบวก (positive feedback)

เจ้าหน้าที่ตรวจลานสายตา (perimetrist) ให้คำปรึกษา ตอบข้อสงสัย อธิบายวิธีการทำ และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการตรวจ รวมทั้งเป็นผู้เลือกวิธีการตรวจตามชุดคำสั่งของจักษุแพทย์ แก้วสายตาให้เหมาะสม และคอยประเมินความร่วมมือในการตรวจ โดยใช้หลักการตอบสนองในเชิงบวกเช่นกัน

ผู้รับการตรวจ หรือผู้ป่วย (patient) ทำความเข้าใจวิธีการทำลานสายตาจากจักษุแพทย์ และเจ้าหน้าที่ พักผ่อนให้เพียงพอ มีสมาธิในระหว่างการทำ และซักถามหากมีข้อสงสัย

ข้อมูลระบุตัวตน (patient data)

ข้อมูลระบุตัวตนของผู้รับการตรวจประกอบด้วยชื่อ วันเกิด และตัวเลขระบุตัวตนเช่น hospital number (HN) ข้อมูลดังกล่าวมีความสำคัญมากโดยเฉพาะวันเกิดของผู้รับการตรวจซึ่งมีผลต่อการวิเคราะห์ข้อมูล เนื่องจากผลของลานสายตาต้องอ้างอิงข้อมูลพื้นฐานตามอายุ และการระบุตัวตนที่ถูกต้องจะทำให้โปรแกรมสามารถดึงข้อมูลออกมาวิเคราะห์ เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของลานสายตาได้อย่างถูกต้อง

การแก้ไขค่าสายตา (refractive error correction)

การแก้ไขค่าสายตา ก่อนการเริ่มการทดสอบมีความสำคัญมาก เนื่องจากการมองเห็นที่ไม่ชัดจะส่งผลให้ค่าความไวของแสงในการทดสอบลดลง และอาจส่งผลให้แปลผลโรคผิดไปได้ มีการศึกษาพบว่าค่าสายตาที่ผิดปกติไป 1 ไดออพเตอร์ (diopter) จะส่งผลให้เกิดค่าความไวของแสงลดลงได้มากกว่า 1 เดซิเบล⁽²⁾ การแก้ไขค่าสายตาในผู้รับการตรวจที่มีภาวะสายตาวายตามอายุ (presbyopia) อาจแก้ไขโดยใช้เลนส์ตั้งแต่ +0.50 ถึง +3.25 ขึ้นกับแต่ละบุคคล การแก้ไขค่าสายตาของเครื่องลานสายตา ทำได้โดยการวางเลนส์ (trial lens) ไว้หน้าต่อตาของผู้รับการตรวจตามค่าสายตาที่ผิดปกติ ที่สำคัญคือการวางตำแหน่งของเลนส์ ต้องให้รูม่านตาของผู้รับการตรวจอยู่ตรงกลางของเลนส์ และไม่วางห่างจากตาเกินไป เพื่อลดการเกิด ring artifact นอกจากนี้ในเครื่องตรวจลานสายตารุ่นใหม่ สามารถแก้ไขค่ากำลังของเลนส์ได้อัตโนมัติ โดยกดเลือกค่ากำลังของเลนส์จากหน้าจอของเครื่อง เพื่อช่วยลดระยะเวลาและลดความผิดพลาดในการวางเลนส์แก้ไขสายตา

การเลือกรูปแบบการทดสอบลานสายตา

รูปแบบการทดสอบลานสายตา ประกอบด้วย การเลือกความกว้างของการตรวจ (degree of testing field) ขนาดและสีของไฟกระตุ้น (stimulus) พื้นหลัง (background) และวิธีการตรวจ (test strategy)

1. ความกว้างของการตรวจ จะประกอบด้วยตัวเลขสองชุด คั่นตรงกลางด้วยเครื่องหมายลบ (-) ตัวเลขชุดแรกหมายถึงขนาดความกว้างของการทดสอบมีหน่วยเป็นองศา ตัวเลขชุดที่สองหมายถึง ชนิดของการทำทดสอบว่าทำบนหรือนอกต่อเส้นแกนในแนวขวาง (horizontal midline) และแนวตั้ง (vertical midline) ของลานสายตา โดยหากทำการทดสอบความไวแสงบนเส้นทั้งสองแนว (on axis) จะให้สัญลักษณ์เลขชุดที่สองคือ 1 แต่หากทำการทดสอบบนและล่างต่อเส้นทั้งสองแนว (off axis) จะให้สัญลักษณ์เลขชุดที่สองคือ 2 เนื่องจากเส้นใยประสาทตาชั้นในของจอตาจะวางตัวบนและล่างต่อแกนดังกล่าว ในทางต้อหินจึงนิยมเลือกทำการทดสอบ off axis เป็นหลัก ความกว้างของการตรวจที่ใช้โดยมากในทางจักษุวิทยา คือ 30-2, 24-2 และ 10-2 โดยมีลักษณะดังนี้

ก. รูปแบบการทดสอบลานสายตา 30-2

ใช้จุดทดสอบความไวของแสง 76 จุด วัดความกว้างของการมองเห็นที่ 30 องศา โดยจุดทดสอบแต่ละจุดอยู่ห่างกัน 6 องศา

ข. รูปแบบการทดสอบลานสายตา 24-2

ใช้จุดทดสอบความไวของแสง 54 จุด โดยมีรูปแบบและตำแหน่งการทดสอบลักษณะเดียวกับ 30-2 เพียงแต่ตัดจุดทดสอบด้านนอกสุดออกไป ยกเว้นจุดทดสอบ nasal ที่คงเอาไว้ 2 จุด

ค. รูปแบบการทดสอบลานสายตา 10-2

ใช้จุดทดสอบความไวของแสง 68 จุด วัดความกว้างของการมองเห็นที่ 10 องศาจากจุดรับภาพชัด โดยจุดทดสอบแต่ละจุดอยู่ห่างกัน 2 องศา โดยเมื่อเทียบกับการทดสอบ 24-2 หรือ 30-2 พบว่ามีจุดทดสอบที่ซ้อนทับกับการทดสอบ 10-2 มีทั้งหมด 4 จุด คือ จุดที่ห่างจากเส้นแกนในแนวขวางและแนวตั้ง 8 องศาจากเส้นแกนทั้งสอง

2. จุดทดสอบหรือไฟกระตุ้น

ก. ขนาดของจุดทดสอบ (stimulus size) ขนาดมีให้เลือกที่ I-V ตามขนาดของพื้นที่ของจุดทดสอบ คือ 1/4, 1, 4, 16, 64 ตารางมิลลิเมตรตามลำดับ ในทางต้อหินนิยมเลือก stimulus size III เพื่อทดสอบในเคสทั่วไปหรือต้อหินความรุนแรงน้อยถึงกลาง เนื่องจากมีขนาดเล็กพอที่จะตรวจพบความผิดปกติของโรคต้อหินในระยะเริ่มต้นและมีขนาดใหญ่พอที่จะมองเห็นได้ในผู้รับ

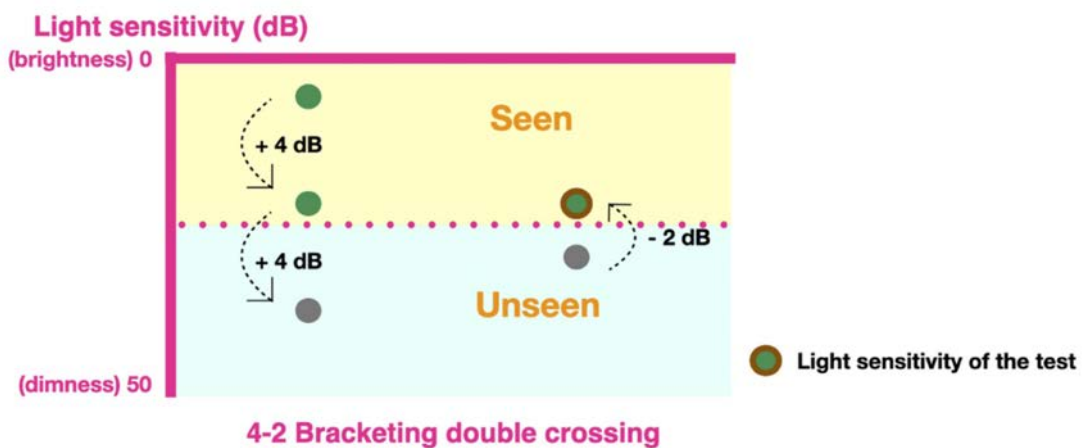
การตรวจที่มีภาวะ refractive error นอกจากนี้ยังอาจเลือกใช้ stimulus size V เพื่อทดสอบในเคส ต้อหินความรุนแรงมาก

ข. สีของจุดทดสอบและสีของพื้นหลัง ใช้สีขาวเป็นค่ามาตรฐานเนื่องจากสีขาวกระตุ้น เซลล์รับสีที่จอประสาทตา (cone cell) ทั้ง 3 ชนิด คือ เซลล์สีฟ้า สีแดง และสีเขียว ระยะเวลาการ ฉายจุดทดสอบอยู่ที่ค่ามาตรฐานของคือ 200 มิลลิวินาที

3. วิธีการตรวจ (testing strategy)

ก. Suprathreshold testing มักใช้การทดสอบชนิดนี้ในการคัดกรองการมองเห็น โดยฉาย ไฟที่มีแสงสว่างมากกว่าปกติ ทำให้ตรวจลานสายตาได้รวดเร็วและทำได้ง่าย มักใช้ในการทดสอบ สำหรับผู้ที่ต้องการตรวจเพื่อขั้ยานพาหนะ ข้อเสียคือมีความไวต่ำในการตรวจจับลานสายตาผิดปกติในระยะเริ่มต้น

ข. Full threshold testing เป็นการทดสอบความไวของแสงในแต่ละจุดของการมองเห็น ด้วยการฉายไฟในระดับความเข้มที่คาดว่าผู้ป่วยสามารถมองเห็นโดยอ้างอิงจากค่าปกติของ ประชากร และใช้หลักการของ 4-2 bracketing double crossing ในการหาค่าความไวของแสง (รูปที่ 4) คือเมื่อผู้รับการตรวจเห็นแสง เครื่องจะลดระดับความเข้มของแสงลง ซึ่งเป็นการเพิ่มความไวของแสงครั้งละ 4 เดซิเบล จนเมื่อผู้รับการตรวจไม่เห็นแสงจึงค่อยเพิ่มระดับความเข้ม ของแสงขึ้น ซึ่งเป็นการลดค่าความไวของแสงครั้งละ 2 เดซิเบลจนกระทั่งผู้รับการตรวจเห็นแสง อีกครั้ง และกำหนดให้ค่าความไวของแสงคือระดับความเข้มแสงสุดท้ายที่ผู้รับการตรวจมองเห็น ในรูปแบบการทดสอบชนิด full threshold จะมีการทดสอบความไวของแสงซ้ำในบางตำแหน่งของ การมองเห็น เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของการตรวจ ข้อเสียคือใช้เวลาการตรวจนาน



รูปที่ 4. รูปภาพแสดงการทดสอบความไวของแสงด้วยวิธี 4-2 bracketing double crossing

ค. The Swedish Interactive Thresholding Algorithm (SITA) คือวิธีตรวจจับความไวของแสงด้วยหลักการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้รับการตรวจและโปรแกรมของเครื่อง เพื่อให้ทำการตรวจได้เร็วมากขึ้น โดยยังสามารถตรวจจับความผิดปกติได้ในระยะเริ่มต้น ความไวของแสงในแต่ละตำแหน่งของการทดสอบจะปรับค่าตามปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมูลความไวของแสงจาก probability distribution function ซึ่งอ้างอิงจากคนปกติและผู้ป่วยต้อหิน อายุของผู้รับการตรวจ ตำแหน่งการทดสอบ ค่าความไวของแสงในแต่ละข้างเคียง ผลของค่าความไวของแสงที่ได้รับการตรวจก่อนหน้านี้ และระยะเวลาการตอบสนองของผู้รับการตรวจ

1. SITA standard ในปัจจุบันถือว่าการทดสอบมาตรฐานในการประเมินและวินิจฉัยโรคต้อหิน ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการตรวจอยู่ที่ประมาณ 5-8 นาทีต่อตา

2. Short wavelength automated perimetry (SITA-SWAP) เป็นการทดสอบลานสายตาโดยฉายแสงสีฟ้าบนพื้นสีเหลือง (blue on yellow) แทนการใช้สีขาว เพื่อกระตุ้นการตอบสนองของเซลล์จอประสาทตาบางชนิด

3. SITA fast เป็นการทดสอบที่ปรับเปลี่ยนมาจาก SITA standard เพื่อลดระยะเวลาการทดสอบ ได้แก่ ปรับความไวของแสงด้วยวิธี 4-bracketing single crossing แทน double crossing และฉายแสงกระตุ้นที่มีความสว่างลดลงเมื่อเทียบกับ SITA standard⁽³⁾ ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการตรวจอยู่ที่ประมาณ 4 ถึง 6 นาทีต่อตา การตรวจวิธีนี้เหมาะกับผู้รับการตรวจที่มีประสิทธิภาพมากหรืออายุน้อย

4. SITA faster เป็นการทดสอบที่ปรับจาก SITA fast เพื่อลดระยะเวลาการทดสอบให้มากขึ้นอีก ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการทดสอบอยู่ที่ประมาณ 2-4 นาทีต่อตา โดยเปลี่ยนวิธีการทดสอบให้แตกต่างจาก SITA fast ดังนี้

ฉายแสงกระตุ้นที่มีความสว่างลดลง

ลดระยะเวลาระหว่างแสงกระตุ้น

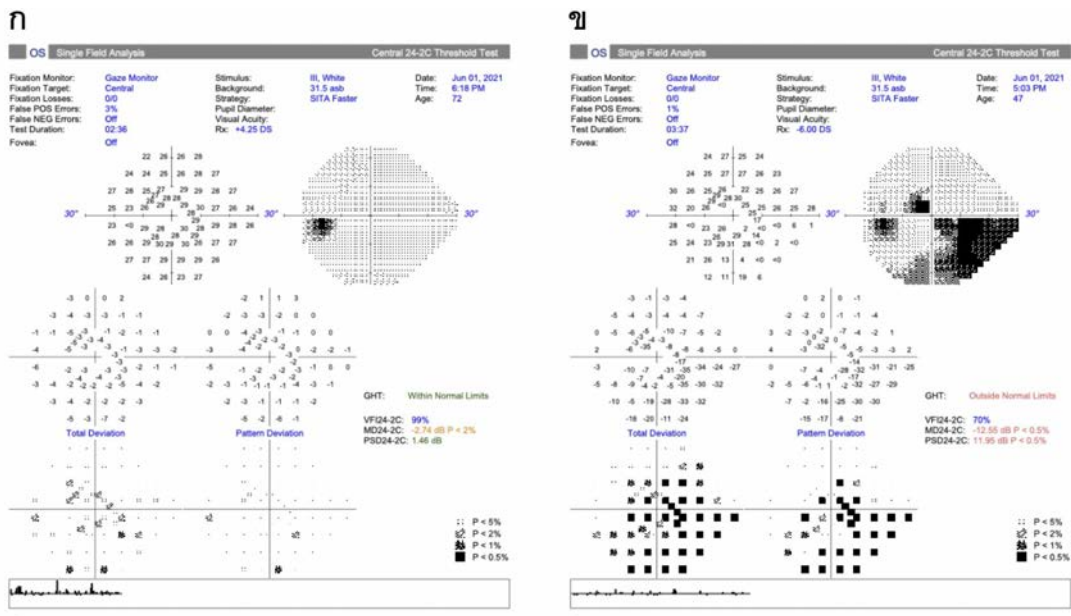
ปิดระบบ blind spot tracking และใช้ gaze tracking แทน

ปิดระบบการตรวจหา false negative errors

มีการศึกษาพบว่า ตรวจลานสายตาด้วย SITA faster สามารถลดระยะเวลาการทดสอบ โดยให้ผลการตรวจลานสายตาได้ใกล้เคียงเมื่อเทียบกับ SITA standard⁽⁴⁻⁶⁾ อย่างไรก็ตามการตรวจด้วย SITA faster ผู้รับการตรวจจำเป็นต้องมีประสิทธิภาพและมีความเชี่ยวชาญในการตรวจลานสายตา จึงจะให้ผลที่น่าเชื่อถือ หากผู้รับการตรวจไม่สามารถทำได้ แนะนำให้ตรวจลานสายตาด้วยวิธี SITA standard เช่นเดิม

5. SITA faster 24-2C เป็นการตรวจลานสายตาเหมือน SITA faster 24-2 แต่เพิ่มจุดทดสอบอีก 10 ตำแหน่งตรงกลาง แบ่งเป็น 5 ตำแหน่งในครึ่งบน และ 5 ตำแหน่งในครึ่งล่าง

เพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจพบความผิดปกติที่จู้ดรับภาพชัด 10 องศา (รูปที่ 5) เนื่องจากการต้องมีการทดสอบเพิ่มขึ้น 10 ตำแหน่ง จึงใช้เวลาในการทดสอบมากกว่า SITA faster แต่ใช้เวลาน้อยกว่า SITA fast และ SITA standard ในการศึกษาของ Callan และคณะ พบว่าการตรวจลานสายตาด้วย 24-2C ได้ผลไม่ต่างกับการตรวจด้วย 10-2 เมื่อเปรียบเทียบค่า total deviation และ pattern deviation ทั้งในคนปกติและผู้ป่วยต้อหิน⁽⁷⁾ ซึ่งได้ผลสอดคล้องไปกับการศึกษาของ Yamane และคณะที่ศึกษาในผู้ป่วยทางจักษุประสาท⁽⁸⁾ และการศึกษาของ Lee และคณะ⁽⁹⁾ นอกจากนี้ตามการศึกษาของ Lee และคณะใน 1 ปีถัดมา พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่า mean deviation และ visual field index ในการตรวจลานสายตาระหว่าง 24-2C และ 24-2 SITA รูปแบบอื่น ๆ ได้แก่ SITA standard, fast และ faster ไม่พบความแตกต่างในแง่ความสามารถในการวินิจฉัยโรคต้อหิน⁽¹⁰⁾ ซึ่งสอดคล้องไปกับการศึกษาของ Phu และคณะเช่นกัน⁽¹¹⁾

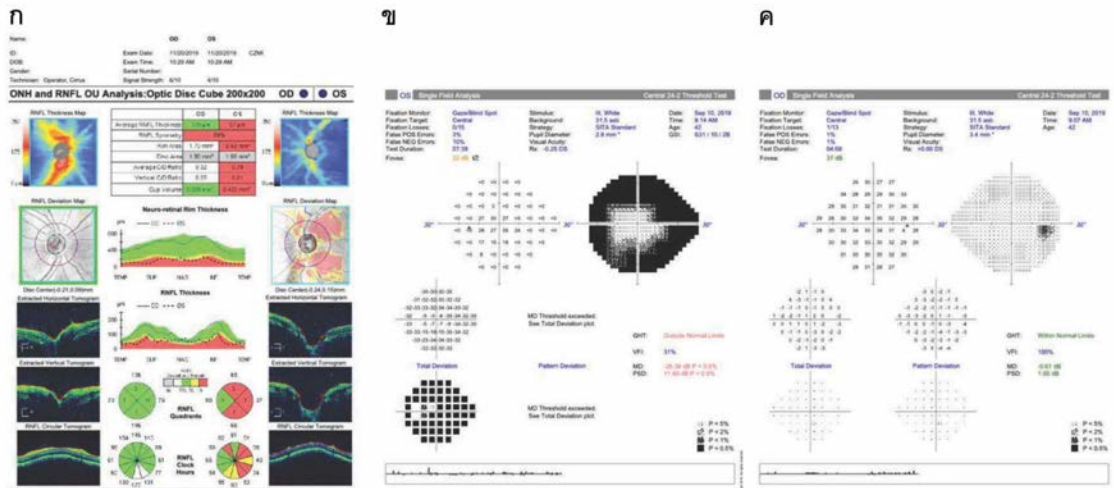


รูปที่ 5. ก. แสดงผลการตรวจลานสายตาวิธี SITA faster 24-2C ข้างซ้ายในคนปกติ และ ข. ข้างซ้ายในผู้ป่วยต้อหิน

การตรวจลานสายตาในโรคต้อหิน

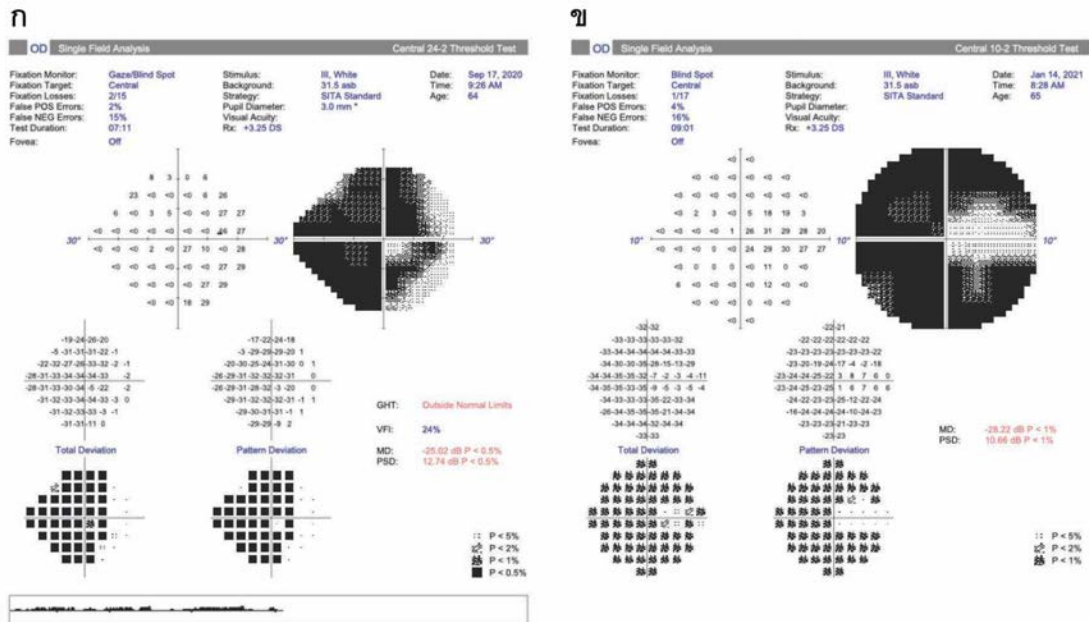
อย่างที่ทราบกันดีว่าโรคต้อหินเป็นโรคที่มีการสูญเสียเส้นใยประสาทตาชั้นในของจอตา (ganglion cell axon) และเกิดความผิดปกติของขั้วประสาทตาที่มีลักษณะจำเพาะ (glaucomatous optic neuropathy) โดยตรวจพบร่วมกับลานสายตาผิดปกติที่เข้าได้กับโรคต้อหิน

(รูปที่ 6) ดังนั้นการตรวจลานสายตาจึงเป็นส่วนหนึ่งเพื่อประกอบการวินิจฉัยโรค ติดตามการดำเนินไปของโรค ประเมินผลการรักษา ทั้งยังเป็นข้อมูลเพื่ออธิบายตัวโรคให้ผู้ป่วย และยังสามารถใช้คาดการณ์การมองเห็นที่คงเหลือของผู้ป่วยในอนาคตอีกด้วย



รูปที่ 6. ข. แสดงความผิดปกติของลานสายตาข้างซ้าย ที่สอดคล้องกับ ก. ความผิดปกติที่ขั้วประสาทตาข้างซ้ายจากการถ่ายภาพเพื่อวัดความหนาของชั้นประสาทตาชั้นในด้วยเครื่อง optical coherence tomogram (OCT) และ ค. ภาพลานสายตาปกติของตาขวา ซึ่งสอดคล้องกับความหนาของชั้นประสาทตาชั้นในตาขวาใน ก. ที่อยู่ในเกณฑ์ปกติเมื่อเทียบกับฐานข้อมูลในเครื่อง OCT

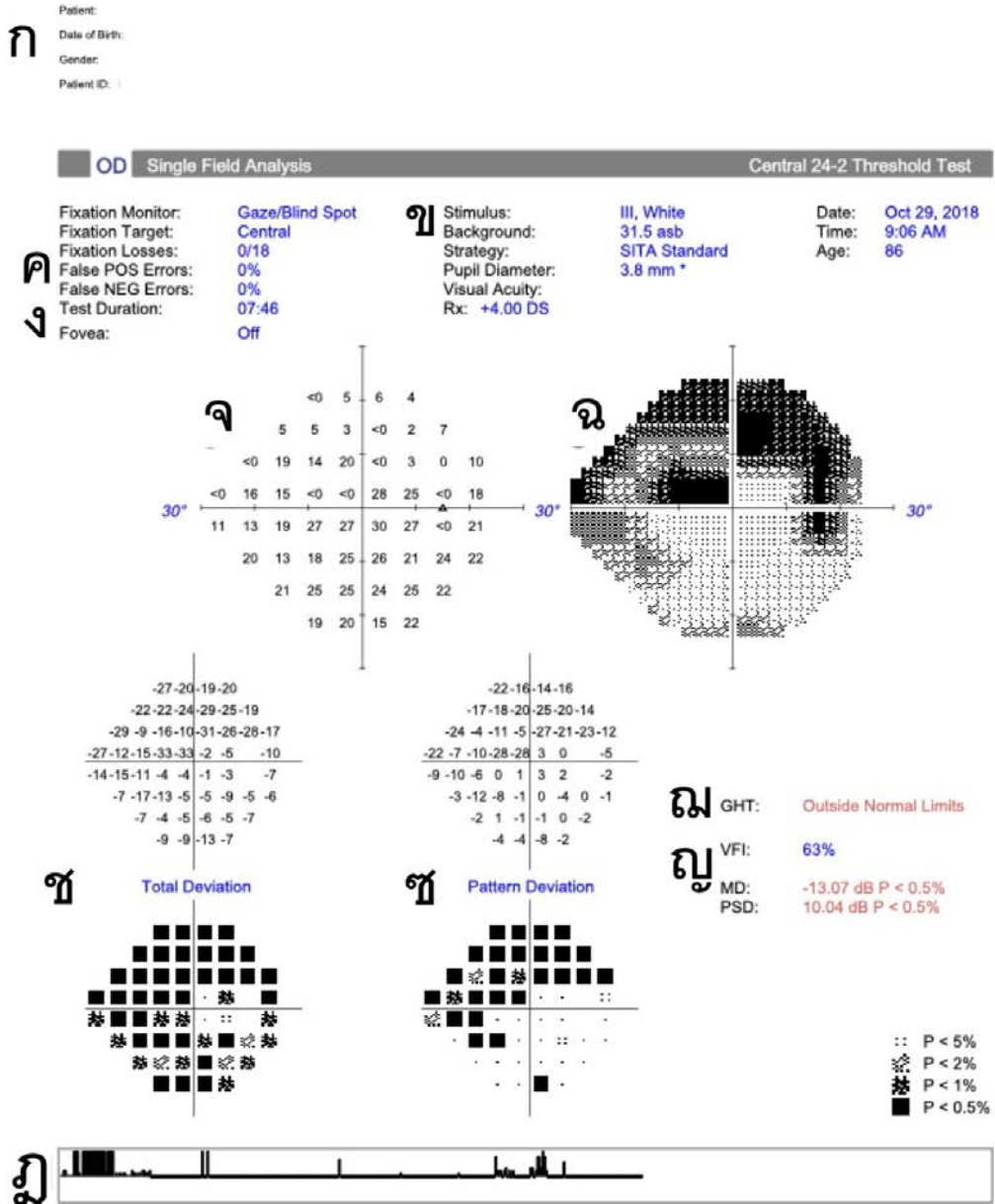
ปัจจุบันรูปแบบของการตรวจลานสายตาที่เป็นมาตรฐานในโรคต้อหิน คือ 24-2 SITA standard, white on white, stimulus size III การตรวจความกว้างของลานสายตาในช่วง 24-30 องศาจากจุดรับภาพชัด แม้ว่าลานสายตาของคนปกติจะมีความกว้างกว่านั้น เนื่องจากความผิดปกติที่จำเพาะกับโรคต้อหิน มักเกิดขึ้นภายใน 24-30 องศาจากจุดรับภาพชัด มีส่วนน้อยที่จะเห็นความผิดปกติในลานสายตาที่กว้างกว่านั้นโดยไม่พบความผิดปกติในช่วง 24-30 องศา อย่างไรก็ตาม สามารถเปลี่ยนการตรวจเป็น 10-2 หรือ stimulus size V ได้ในกรณีที่ผู้ป่วยเป็นโรคต้อหินชนิดรุนแรงซึ่งสูญเสียการมองเห็นค่อนข้างมาก (รูปที่ 7)



รูปที่ 7. ก. แสดงผลลานสายตา SITA standard 24-2 ซึ่งพบว่ามีความผิดปกติของลานสายตา มาก โดยเป็นลักษณะ tunnel vision และ temporal island และ ข. ผลลานสายตา SITA standard 10-2 ของผู้ป่วยคนเดิม ซึ่งเห็นรายละเอียดของลานสายตาในช่วง 10 องศาได้ดีมากขึ้น

การวิเคราะห์ข้อมูลของลานสายตา

เครื่องตรวจลานสายตาแต่ละชนิดจะมีโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล โดยในเครื่อง Humphrey® field analyzer ใช้การวิเคราะห์ที่เรียกว่า STATPAC analysis โดยสามารถแสดงรูปแบบการวิเคราะห์ได้หลากหลาย ยกตัวอย่างรูปแบบการวิเคราะห์ที่ใช้ในการประเมินทางคลินิก คือ single field analysis (SFA, รูปที่ 8) โดยมีพารามิเตอร์ดังนี้⁽¹²⁾



รูปที่ 8. แสดง single field analysis และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ก. patient data ข. test strategy ค. reliability indices ง. test duration จ. numerical threshold sensitivities ฉ. greyscales ช. total deviation maps ฌ. pattern deviation maps ฉ. glaucoma hemifield test ญ. visual field indices และ ฎ. gaze tracking record

ก. Patient data ข้อมูลประกอบด้วย ชื่อ นามสกุล วันเกิด เพศ และตัวเลขระบุตัวตน

ข. Test strategy

ค. Reliability indices

Fixation loss เกิดจากผู้รับการตรวจไม่ได้มองที่ fixation point ตรงกลางของเครื่องตรวจลานสายตาในระหว่างทดสอบ เครื่องทำการทดสอบโดยฉายไฟกระตุ้นในตำแหน่งของจุดบอดซึ่งในภาวะปกติ ผู้รับการตรวจจะไม่เห็นสิ่งกระตุ้นในตำแหน่งดังกล่าว หากผู้รับการตรวจกดปุ่มว่าเห็นไฟ แสดงว่าจุดบอดและตามีการเคลื่อนที่ไปตำแหน่งอื่น โดยเรียกวิธีทดสอบดังกล่าวว่า Heijl-Krakau method⁽¹³⁾ ค่าปกติไม่ควรเกินร้อยละ 20

False positive error เกิดจากผู้รับการตรวจกดปุ่มว่าเห็นไฟ แต่ไม่ได้มีการฉายไฟกระตุ้นในการทดสอบจริง หรือระยะเวลาในการกดปุ่มไฟไม่สัมพันธ์กับการฉายไฟกระตุ้น ค่าปกติไม่ควรเกินร้อยละ 15⁽¹²⁾

False negative error เกิดจากผู้รับการตรวจไม่ได้กดปุ่มว่าเห็นไฟ ทั้งที่แสงไฟที่กระตุ้นมีค่าความสว่างในระดับที่ผู้รับการตรวจควรจะเห็น อย่างไรก็ตามในโรคต้อหินที่มีความรุนแรงมากอาจมีค่า false negative error สูงกว่าปกติได้

ง. Test duration ระยะเวลาที่ผู้รับการตรวจทำลานสายตาในตาข้างนั้น ๆ

จ. Numerical threshold sensitivity แสดงค่าความไวของแสงในแต่ละจุดการทดสอบ หน่วยเป็นเดซิเบล เครื่องตรวจลานสายตาสามารถทดสอบค่าความไวของแสงได้ตั้งแต่ 0-50 เดซิเบล ซึ่ง 0 เดซิเบล เป็นค่าความสว่างสูงสุดที่เครื่องฉายได้ และ 50 เดซิเบล เป็นค่าความสว่างต่ำสุด ค่าความไวของแสงในคนปกติจะมีช่วงอยู่ระหว่าง 20-40 เดซิเบล ขึ้นอยู่กับตำแหน่งการทดสอบ

ฉ. Greyscale เป็นการแสดงค่าความไวของแสงในแต่ละจุดการทดสอบ ด้วยสัญลักษณ์จุดสีดำที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยมาก greyscale ไม่ถูกใช้ในการวินิจฉัยโรคต้อหินเนื่องจากข้อมูลที่ได้เกิดจากข้อมูลดิบที่ไม่ได้มีการเปรียบเทียบกับค่าปกติของประชากร อย่างไรก็ตาม greyscale มีประโยชน์ในแง่การดู artifact ที่เกิดขึ้นจากการทดสอบและง่ายในการอธิบายผู้ป่วย การใช้สัญลักษณ์สีที่แตกต่างกันเกิดจากการแบ่งกลุ่มความไวของแสงออกเป็น 10 กลุ่ม กลุ่มละ 5 เดซิเบล ยกเว้นกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 10 ซึ่งใช้ช่วงค่าความไวของแสงกลุ่มละ 10 เดซิเบล

ช. Total deviation map เป็นการแสดงค่าการเบี่ยงเบนของความไวแสงของผู้รับการตรวจเมื่อเทียบกับค่าความไวแสงในประชากรปกติที่อายุเท่ากัน โดยแสดงออกเป็นแผนที่ตัวเลข (numerical total deviation map) ตัวเลขแสดงเป็นค่าลบ เมื่อวัดได้ค่าความไวแสงน้อยกว่ากลุ่มประชากรปกติ แสดงตัวเลขเป็นบวก เมื่อวัดได้ค่าความไวแสงมากกว่า และแสดงตัวเลขเป็นศูนย์เมื่อค่าความไวแสงเท่ากับกลุ่มประชากรปกติ และยังแสดงผลค่าการเบี่ยงเบนโดยใช้สัญลักษณ์

ของสีดำขาวที่แตกต่างกัน เพื่อบ่งบอกความเบี่ยงเบนในทางสถิติ (total deviation probability map)

ข. Pattern deviation map เป็นการแสดงค่าการเบี่ยงเบนของความไวแสงโดยเน้นพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง (localized loss) มากกว่าพื้นที่โดยรวม (generalized loss) โดยใช้หลักการว่าโรคต้อหินมักเกิดความสูญเสียของเส้นใยประสาทตาที่ส่วนใดส่วนหนึ่งมากกว่าการสูญเสียกระจายทั้งหมด ดังนั้นโปรแกรมจะตัดค่าการเบี่ยงเบนของความไวแสงที่เกิดจากพื้นที่โดยรวมออก ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุอื่น ๆ ที่ไม่ใช่โรคต้อหินเช่น โรคต้อกระจก ภาวะม่านตามีขนาดเล็ก เป็นต้น และเน้นให้เห็นเฉพาะการเบี่ยงเบนความไวแสงในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งเท่านั้น แสดงข้อมูลให้เห็นทั้งรูปแบบของตัวเลข (numerical pattern deviation map) และใช้สัญลักษณ์ของสีดำขาวเพื่อบ่งบอกความเบี่ยงเบนในทางสถิติ (pattern deviation probability map) อย่างไรก็ตาม generalized loss ยังสามารถพบได้ในโรคต้อหินเช่นกัน

ฅ. Glaucoma hemifield test (GHT) เป็นรูปแบบการแปลผลลานสายตาอย่างง่ายที่จำเพาะต่อโรคต้อหิน โดยการประเมิน pattern deviation probability scores จาก 5 พื้นที่เปรียบเทียบกับแต่ละพื้นที่ระหว่างลานสายตาครึ่งบนและครึ่งล่าง โดยสามารถแปลผลลานสายตาออกมาได้ 5 รูปแบบ ดังนี้

- Outside normal limits
- Borderline
- General depression
- Abnormally high sensitivity
- Within normal limits
- 10. Visual field indices

Median deviation (MD) คือดัชนีค่าเฉลี่ยการเบี่ยงเบนความไวต่อแสงซึ่งคำนวณมาจาก numerical total deviation map ดังนั้น MD=0 บ่งบอกว่าไม่มีการเบี่ยงเบนค่าความไวของแสงจากประชากรปกติ และยิ่งค่า MD ติดลบมากเท่าไร บ่งบอกว่าลานสายตาผิดปกติมากเมื่อเทียบกับประชากรปกติ อาจมีค่าได้ถึง -30 ถึง -35 เดซิเบลในผู้ป่วยต้อหินที่มีความรุนแรงมาก

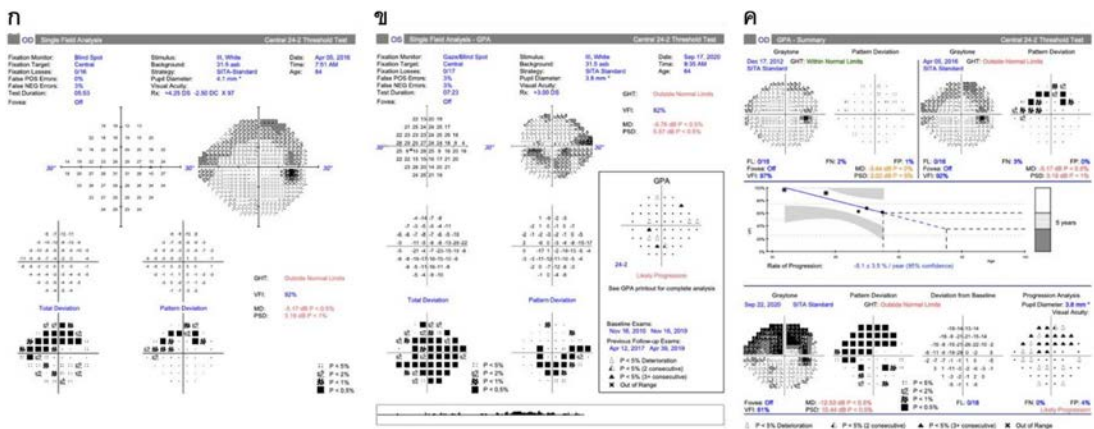
Pattern standard deviation (PSD) คือค่าดัชนีแสดงความขรุขระของลานสายตา โดยจะมีค่ามากขึ้นเมื่อมีสูญเสียลานสายตาชนิด localized loss และมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ในลานสายตาปกติ หรือเมื่อมีการสูญเสียลานสายตาทั่ว ๆ วนเรียกว่าภาวะตาบอด (perimetric blindness)

Visual field index (VFI) คือค่าดัชนีแสดงการทำงานของลานสายตาเมื่อเทียบกับประชากรปกติ โดยค่า VFI คำนวณอิงค่า MD ที่มีการลดผลกระทบจากความไวแสงที่ลดลงจากสาเหตุอื่น เช่น ต้อกระจก และให้น้ำหนักกับการมองเห็นบริเวณจุดศูนย์กลางภาพมากกว่าทางด้านรอบนอก

ค่า VFI จะเข้าใกล้ ร้อยละ 100 ในลานสายตาปกติ และเข้าใกล้ค่าร้อยละ 0 ใน perimetric blindness

ฏ. Gaze tracking record เป็นการวัดการกลอกตา โดยจะแสดงผลที่ด้านล่างของผลลานสายตา เส้นสีดำที่ขึ้นด้านบน หมายถึงการกลอกตาออกจากจุดศูนย์กลางภาพ ความยาวของเส้น หมายถึงองศาของการกลอกตา ซึ่งจะจับได้ตั้งแต่ 1-10 องศา เส้นสีดำทางด้านล่าง หมายถึงการกระพริบตา

ในการวิเคราะห์โรคต้อหิน มักประเมินจาก pattern deviation map, GHT และ visual field indices เป็นสำคัญ และมักใช้ค่า VFI, MD เพื่อประเมินระยะของโรค และคำนวณอัตราการลดลงของลานสายตา นอกจากการแสดงผลลานสายตาด้วย SFA ข้างต้นซึ่งเป็นการรายงานผลลานสายตา ณ จุดเวลาหนึ่งแล้ว หากผู้รับการตรวจมีผลลานสายตาหลายครั้ง เครื่องตรวจลานสายตาสามารถแสดงผลลานสายตาในรูปแบบอื่น เช่น single field analysis-GPA, GPA-summary (รูปที่ 9)



รูปที่ 9. แสดงผลลานสายตาในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ ผลลานสายตา ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ก. single field analysis (SFA) ข. SFA และ guided progression analysis (GPA) ซึ่งแสดงผลลานสายตาเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นฐานเพื่อติดตามการดำเนินไปของโรค (single field analysis-GPA) และ ค. ผลตรวจลานสายตา GPA-summary แสดงข้อมูลเฉพาะเพื่อติดตามการดำเนินไปของโรค โดยแสดงข้อมูลลานสายตาที่เปลี่ยนแปลงไป และแสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของลานสายตาในรูปแบบกราฟเส้นตรง

ความผิดปกติของลานสายตาเพื่อประกอบการวินิจฉัยโรคต้อหิน

ข้อมูลหรือพารามิเตอร์จากการตรวจลานสายตาเพื่อใช้ในการวินิจฉัยโรคต้อหิน อ้างอิงตาม Hoddap-Parrish-Anderson criteria⁽¹⁴⁾ (ตารางที่ 1⁽¹⁴⁾) ให้เกณฑ์การวินิจฉัยโรคต้อหินจากความผิดปกติของลานสายตา

ตามหลักเกณฑ์ 3 ข้อ ข้อใดข้อหนึ่งดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1. เกณฑ์การวินิจฉัยโรคต้อหินจากความผิดปกติของลานสายตา⁽¹⁴⁾

1. Glaucoma hemifield test outside normal limits on at least two fields
2. Cluster of three or more non-edge points in a location typical for glaucoma, all of which are depressed on the pattern deviation plot at a $P < 5\%$ level and one of which is depressed at a $P < 1\%$ level on two consecutive fields
3. Corrected pattern standard deviation that occurs in 5% of normal fields on two consecutive fields

ความผิดปกติของลานสายตาที่จำเพาะต่อโรคต้อหิน (location typical for glaucoma)

เนื่องจากโรคต้อหินเป็นโรคที่มีการสูญเสีย ganglion cell axon ซึ่งมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบในแนวนอนทั้งด้านบนและล่างต่อ horizontal midline เมื่อเกิดความผิดปกติของ axon ดังกล่าว จึงให้ลักษณะความผิดปกติทางลานสายตาในด้านบนและล่างในลักษณะจำเพาะ โดยมีลักษณะต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้⁽¹⁵⁾

1. Arcuate scotoma (Bjerrum scotoma) โดยเห็นความผิดปกติเรียงเป็นแนวนอนฐานโค้งจากจุดบอดของลานสายตา โดยอยู่เหนือหรือใต้ต่อจุดรับภาพชัด ไปจบที่ด้านในของจุดรับภาพชัด (รูปที่ 10ก.)

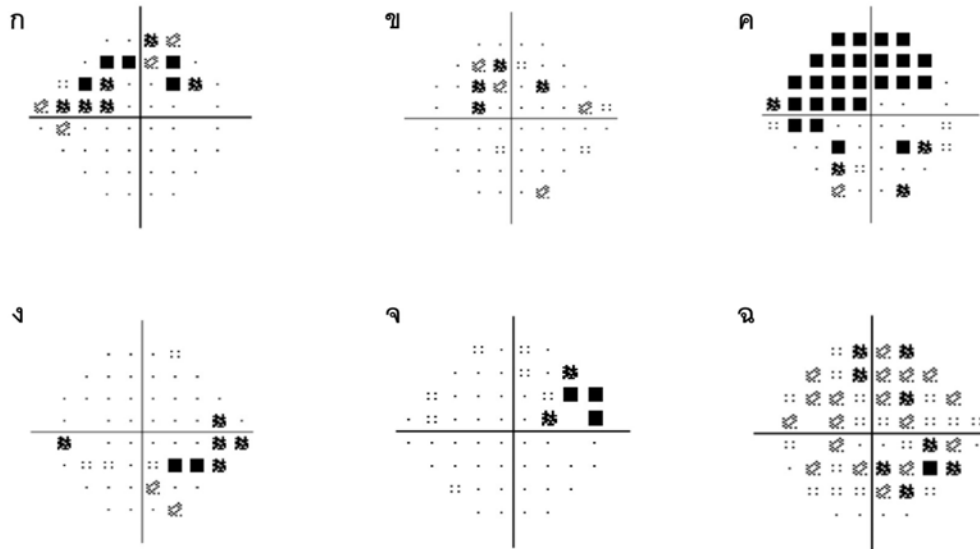
2. Paracentral scotoma คือการลดลงของความไวแสงที่เกิดขึ้นใกล้ต่อศูนย์กลางของลานสายตา โดยอาจเป็นส่วนหนึ่งของ arcuate scotoma ในระยะเริ่มต้นได้ (รูปที่ 10ข.)

3. Altitudinal defect โดยเห็นความผิดปกติครึ่งหนึ่งของลานสายตาที่อยู่เหนือหรือใต้ต่อ horizontal midline (รูปที่ 10ค.)

4. Nasal step ความผิดปกติของลานสายตาเกิดขึ้นที่ด้านใน โดยอยู่เหนือหรือใต้ต่อ horizontal midline (รูปที่ 10ง.)

5. Temporal wedge ความผิดปกติของลานสายตาเกิดขึ้นที่ด้านนอกต่อ blind spot โดยอยู่เหนือหรือใต้ต่อ horizontal midline (รูปที่ 10จ.)

6. Generalized depression คือการลดลงของความไวแสงในลานสายตาโดยทั่ว ซึ่งอาจแยกได้ยากกับภาวะอื่นเช่น ต้อกระจก ม่านตามีขนาดเล็ก หรือในภาวะสายตาผิดปกติ (refractive error) ซึ่งต้องใช้ลักษณะอื่น ๆ ของโรคต้อหินมาประกอบ (รูปที่ 10ฉ.)



รูปที่ 10. แสดงความผิดปกติของลานสายตาในโรคต้อหิน ก. arcuate scotoma ข. paracentral scotoma ค. altitudinal defect ง. nasal step จ. temporal wedge และ ฉ. generalized depression

นอกจากนี้เรายังสามารถตรวจพบความผิดปกติของลานสายตาได้หลายลักษณะพร้อมกันอีกด้วย ทั้งนี้การประเมินว่าความผิดปกติทางลานสายตาเกิดขึ้นจากโรคต้อหินนั้นจะต้องมีการประเมินร่วมกับการตรวจโครงสร้างของขั้วประสาทตาซึ่งมีลักษณะจำเพาะไปในทางเดียวกันดังที่กล่าวไปข้างต้น (รูปที่ 6) หากตรวจพบความผิดปกติของลานสายตาในลักษณะอื่นที่ไม่ใช่ลักษณะจำเพาะต่อโรคต้อหิน อาจเกิดจากโรคหรือภาวะอื่น ๆ เช่น โรคหลอดเลือดสมอง โรคเส้นประสาทตาอักเสบ ฯลฯ ซึ่งความผิดปกติดังกล่าวอาจพบรวมกันกับโรคต้อหินได้เช่นกัน ส่งผลให้การประเมินโรคยากขึ้น และต้องอาศัยข้อมูลทางคลินิกอื่น ๆ ประกอบ อ้างอิงจากการศึกษาของ ocular hypertension treatment study group⁽¹⁵⁾ ที่กำหนดคำนิยามของความผิดปกติของลานสายตาในลักษณะต่าง ๆ ทั้งที่เกิดจากโรคต้อหิน และโรคอื่น ดังแสดงในตารางที่ 2⁽¹⁵⁾

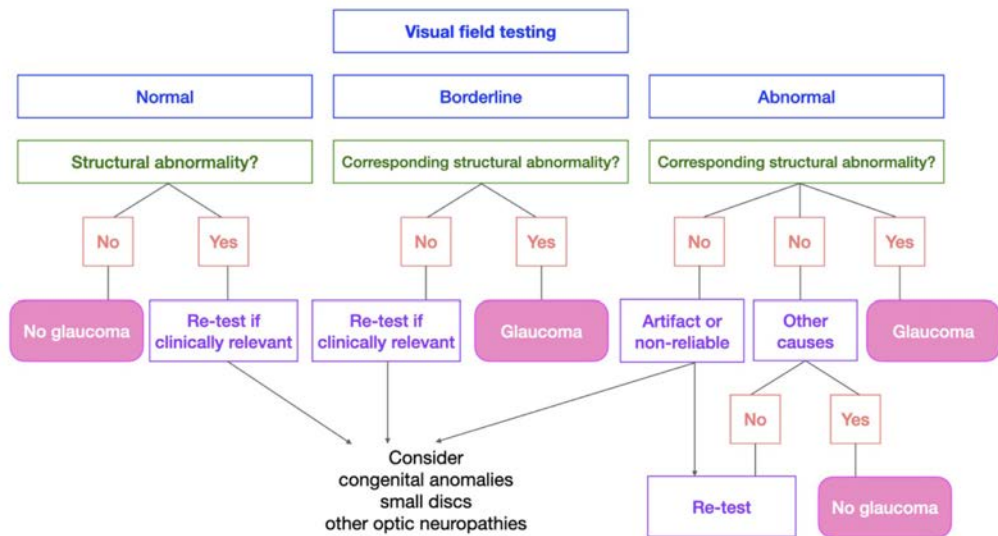
ตารางที่ 2. ความจำแนกประเภทความผิดปกติของลานสายตา ตามการศึกษากลุ่ม ocular hypertension treatment study group⁽¹⁵⁾

Nerve fiber bundle abnormalities	
Altitudinal	Severe visual field loss throughout the entire superior or inferior hemifield that respects the horizontal midline. Most points in the hemifield have a <i>P</i> value less than .05 on the total deviation plot. The entire horizontal midline demonstrates abnormality.
Arcuate	Significant visual field loss in the nerve fiber bundle region. Extends across contiguous abnormal points from the blind spot to at least 1 point outside 15° adjacent to the nasal meridian.
Nasal Step	Limited field loss adjacent to the nasal horizontal meridian. Includes at least 1 abnormal point at or outside 15° on the meridian. Cannot include more than 1 significant point (on either plot) in the nerve fiber bundle region on the temporal side.
Paracentral	A relatively small visual field abnormality in the nerve fiber bundle region. Generally not contiguous with the blind spot or the nasal meridian. Does not involve points outside 15° that are adjacent to the nasal meridian.
Partial Arcuate	Visual field loss in the nerve fiber bundle region that extends incompletely from the blind spot to the nasal meridian. The defect is generally contiguous with either the blind spot or the nasal meridian. Must include at least 1 abnormal location in the temporal visual field.
Temporal Wedge	A small visual field defect that is temporal to the blind spot.
Nonnerve fiber bundle abnormalities	
Central	Visual field loss that is predominantly in the macular region. The foveal threshold must have a <i>P</i> value of less than .05. Can be associated with a single hemifield and paired with another defect.
Hemianopia	A visual field defect that respects the vertical meridian. Involves essentially all points in a vertical hemifield.
Inferior Depression	2 or more abnormal points in the very inferior region.
Partial Hemianopia	A visual field defect that respects the vertical meridian. Greater than 1 quadrant but less than a complete vertical hemifield.

Partial Peripheral Rim	Generally continuous field loss outside 15°. Not in all quadrants. Must have some curvature.
Peripheral Rim	Generally continuous visual field loss outside 15° in all 4 quadrants. Usually no visual field loss inside 15° on either deviation plot. Must be visual field loss temporal to the blind spot.
Quadrant	Significant visual field loss throughout an entire quadrant that respects the vertical and horizontal midlines. Essentially all points must have a <i>P</i> value of less than .05 on the total deviation plot.
Superior Depression	Two or more abnormal points in the very superior region.
Total Loss	Severe widespread visual field loss ($MD \leq 20.00$ dB).
Vertical Step	Limited visual field loss that respects the vertical meridian. Includes at least 2 abnormal points at or outside 15° along the vertical meridian.
Widespread	Diffuse visual field loss that includes all 4 quadrants. The glaucoma hemifield test may show a general reduction of sensitivity or the mean deviation must show a <i>P</i> value of less than .05. The corrected pattern SD must not show a <i>P</i> value of less than .05. Most abnormal points on the total deviation plot are not abnormal on the pattern deviation plot.

การตรวจลานสายตาซ้ำเพื่อยืนยันการวินิจฉัยโรคต้อหิน

เนื่องจากการตรวจลานสายตาเป็นการตรวจที่เกิดจากความร่วมมือของผู้รับการตรวจเป็นสำคัญดังที่ได้กล่าวไป ดังนั้นความผิดปกติของลานสายตาที่ตรวจพบ จึงจำเป็นต้องตรวจซ้ำเพื่อยืนยันว่าความผิดปกติที่เห็นเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจริง หลายครั้งในทางคลินิกมักพบว่าความผิดปกติของลานสายตาที่ตรวจพบครั้งแรก ดีขึ้นหรือหายไปเมื่อทำการตรวจซ้ำ โดยสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการขาดการเรียนรู้ (learning effect), การขาดความเข้าใจ ขาดความพร้อมในการตรวจ หรือความผิดปกตินั้นเกิดจากสิ่งแปลกปลอมในลานสายตา (artifact) ดังนั้นการวินิจฉัยโรคต้อหินอ้างอิงตาม Hoddap-Parrish-Anderson criteria⁽¹⁴⁾ (ตารางที่ 1) จึงจำเป็นต้องตรวจพบความผิดปกติที่เข้าได้ตามเกณฑ์อย่างน้อย 2 ครั้งของการตรวจ นอกจากนี้หากพบว่าข้อมูลจากลานสายตา และลักษณะทางคลินิกอื่น ๆ ยังไม่มีลักษณะจำเพาะเพียงพอที่จะวินิจฉัยโรคต้อหิน การตรวจลานสายตาซ้ำยังเกิดประโยชน์ในการช่วยยืนยันความผิดปกติ หรือเปลี่ยนการวินิจฉัยโรค ซึ่งสอดคล้องกับแนวปฏิบัติของ european glaucoma society (EGS) ตามรูปที่ 11



* Consider the reliability of the test before making decisions based on it

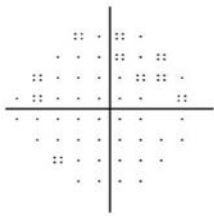
European Glaucoma Society Guideline 5th edition, 2020

รูปที่ 11. รูปภาพแสดงแนวทางการวินิจฉัยโรคต้อหินโดยใช้ข้อมูลจากตรวจลานสายตา และโครงสร้างของขั้วประสาทตา (คัดลอกจาก european glaucoma society guideline, fifth edition, 2020)

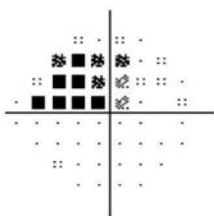
Filling-in effect

ความยากของโรคต้อหิน คือผู้ป่วยมักจะไม่มีอาการของโรคในช่วงแรก และตรวจพบอาการได้ในระยะท้ายของโรค หนึ่งในสาเหตุที่ทำให้ผู้ป่วยไม่รู้สึกรู้ว่ามีการมองเห็นผิดปกติ คือการเกิดภาวะ filling-in effect⁽¹²⁾ ภาวะนี้เกิดขึ้นจากการปรับตัวของสมอง อธิบายโดยเมื่อมีลานสายตาบางส่วนผิดปกติไป แทนที่ภาพจะดำมืดไปในส่วนนั้น แต่สมองกลับปรับตัวด้วยการสร้างภาพที่เรียกว่า believable image ขึ้นมาทดแทนในตำแหน่งลานสายตาที่ผิดปกติ ทำให้สมองรับรู้ว่ามีมองเห็นภาพได้ แต่เป็นการมองเห็นภาพ believable image ที่สมองสร้างขึ้นนั่นเอง (รูปที่ 12) ด้วยภาวะที่เกิดขึ้นนี้ ทำให้ผู้ป่วยไม่ได้สังเกตว่าตนเองเห็นภาพผิดปกติไป กว่าที่จะรู้ว่าจะเกิดความผิดปกติของลานสายตา คือเมื่อเกิดความผิดปกติมากแล้ว หรือเกิดความผิดปกติเข้าใกล้จุดรับภาพชัด (threatened fixation) ผู้ป่วยหรือญาติอาจสังเกตเพิ่มเติมว่า ผู้ป่วยชนสิ่งของหรือเกิดอุบัติเหตุง่าย และบ่อยครั้งมากขึ้น จึงพาผู้ป่วยมาตรวจและได้รับการวินิจฉัยโรค

ก



ข

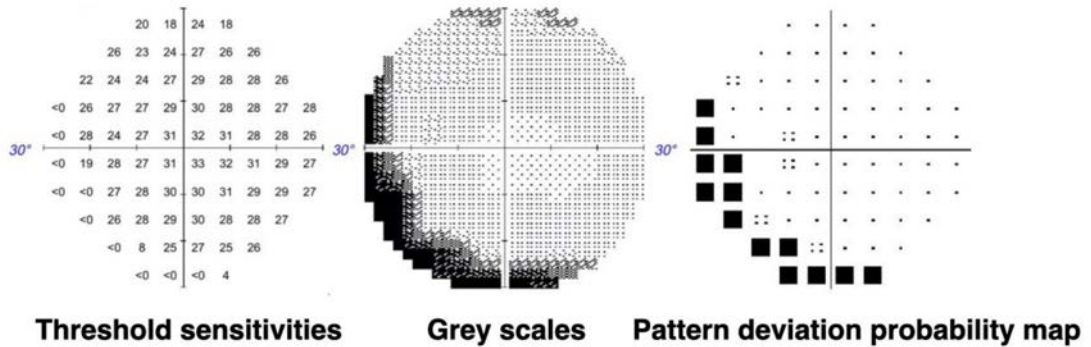


รูปที่ 12. ก. แสดงการเกิดภาวะ filling-in effect ภาพด้านบนแสดงภาพที่เห็นในคนปกติ ซึ่งไม่มีความผิดปกติของลานสายตา และ ข. แสดงภาพที่เห็นในคนที่มีลานสายตาผิดปกติด้าน supernoasal field ซึ่งเกิดภาพ believable image ขึ้นมาทดแทนในตำแหน่งลานสายตาที่ผิดปกติ

สิ่งแปลกปลอมที่เกิดขึ้นในลานสายตา (artifact)

ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในลานสายตา บางครั้งเกิดจาก artifact และทำให้สับสนว่าเกิดจากความผิดปกติจากตัวโรค การแปลผลจึงต้องอาศัยความระมัดระวัง artifact ในลานสายตามีหลายชนิด ได้แก่

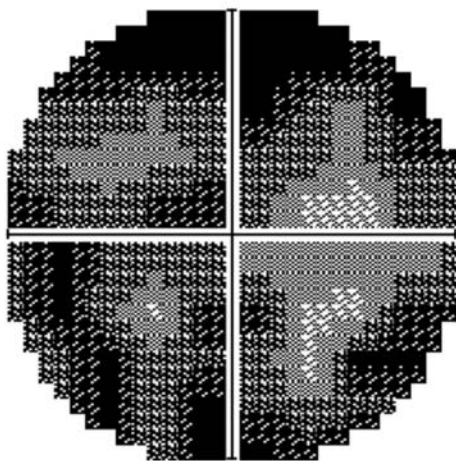
1. Lens/ring artifact เกิดจากการที่ผู้รับการตรวจอยู่ห่างจากเลนส์แก้วสายตาที่วางอยู่ในเครื่องตรวจลานสายตามากเกินไป ทำให้ส่วนของกรอบเลนส์บังการมองเห็นในส่วนนั้น และแสดงให้เห็นจุดผิดปกติเกิดขึ้น ซึ่งมักอยู่ที่ขอบนอกของลานสายตา โดยอาจเห็นจุดผิดปกติบางส่วนหรือทั้งวง (รูปที่ 13) ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความไวแสงที่ต่ำผิดปกติ โดยเฉพาะมีค่า <0 เดซิเบล หากพบสิ่งแปลกปลอมดังกล่าว ควรทำการตรวจซ้ำโดยจัดกรอบเลนส์แก้วสายตาเข้าใกล้ตาของผู้รับการตรวจมากขึ้น แต่ระมัดระวังไม่เข้าใกล้มากเกินไปจนโดนขนตาของผู้รับการตรวจ ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถถ่ายภาพระยะกระพริบตาได้



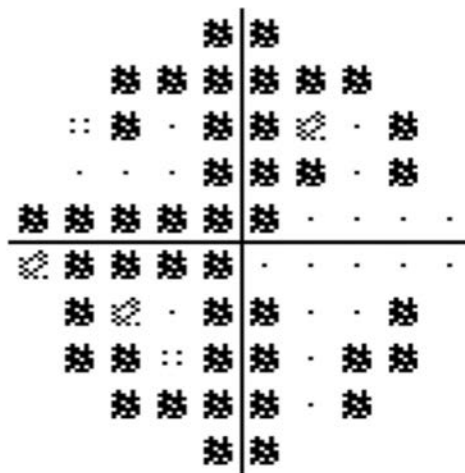
รูปที่ 13. แสดง ring artifact โดยเห็นเป็นจุดดำผิดปกติเกิดขึ้น ซึ่งมักอยู่ที่ขอบนอกของลานสายตา และสัมพันธ์กับค่าความไวแสงที่ต่ำผิดปกติ (<0) ใน threshold sensitivity

2. Ptosis/prominent eyebrow เกิดจากความผิดปกติที่หนังตา เช่น หนังตาดก หรือคิ้วของผู้รับการตรวจและทำให้บังการทดสอบลานสายตาด้านบน โดยแสดงให้เห็นจุดผิดปกติอยู่ที่ขอบด้านบนของลานสายตา ถ้าหากว่าผู้รับการตรวจมีหนังตาดกมาก จะทำให้เกิดจุดผิดปกติมาก และอาจสับสนกับความผิดปกติที่เกิดขึ้นในผู้ป่วยต้อหินชนิด altitudinal defect ได้ การแก้ไขคือทำการเปิดหนังตาดูผู้ป่วยด้วยเทปในระหว่างการตรวจ โดยติดให้เปลือกตาเปิดมากขึ้นแต่ยังสามารถกระพริบตาได้ตามปกติ

3. Cloverleaf pattern เกิดจากผู้รับการตรวจกดปุ่มเมื่อเห็นไฟขึ้นในช่วงแรกของการทดสอบ ซึ่งเครื่องจะทำการทดสอบความไวแสงที่ 4 จุดแรก และหลังจากนั้นผู้รับการตรวจไม่ได้กดปุ่มต่อ ทำให้เครื่องรายงานผลความไวของแสงเพียงช่วงแรกของการทดสอบ และรายงานตำแหน่งการทดสอบที่เหลือเป็นค่าผิดปกติ โดยจะสังเกตเห็นความผิดปกตินี้ได้ชัดเจนมากขึ้นใน greyscale (รูปที่ 14) ในทางกลับกัน ถ้าผู้รับการตรวจไม่ได้กดปุ่มในช่วงแรกของการทดสอบ แต่กลับมากดปุ่มเมื่อเห็นไฟขึ้นหลังจากนั้น เครื่องจะรายงานจุดผิดปกติเป็น 4 จุดแรกของการทดสอบ และรายงานตำแหน่งการทดสอบที่เหลือเป็นค่าปกติ จะเกิดลานสายตาชนิด reversed cloverleaf pattern การแก้ไข คือเน้นการอธิบายวิธีการทดสอบ วิธีกดปุ่มค้างเพื่อหยุดพักชั่วคราวหากผู้รับการตรวจอ่อนล้า หรือเหนื่อยในช่วงตรวจ และแนะนำให้พักผ่อนอย่างเพียงพอก่อนรับการตรวจ



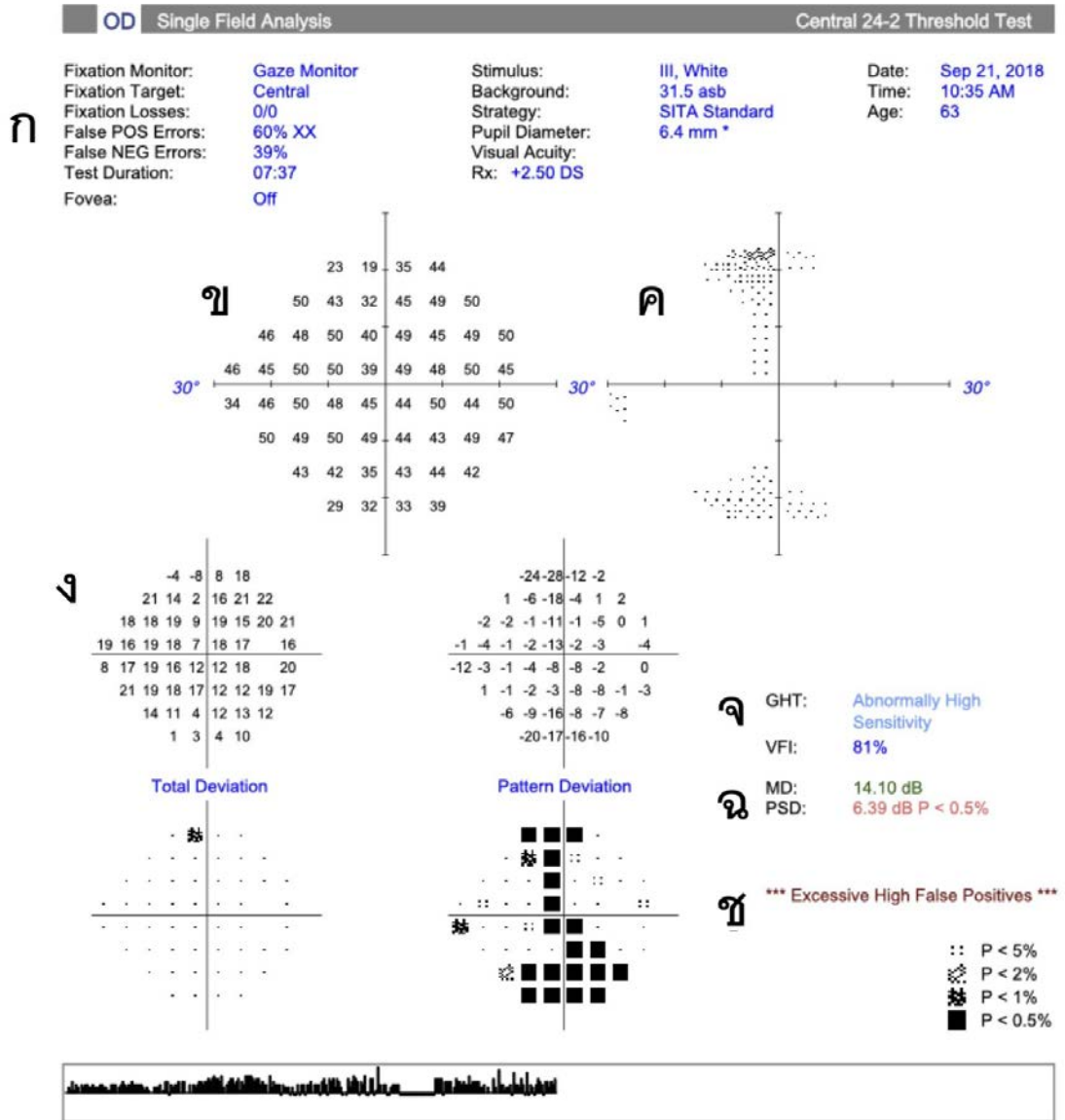
Grey scales



Pattern deviation probability map

รูปที่ 14. รูปภาพ artifact ชนิด cloverleaf pattern

4. Trigger-happy field เกิดจากผู้รับการตรวจกดปุ่มเครื่องเสมือนมองเห็นไฟ โดยที่เครื่องไม่ได้ฉายไฟกระตุ้นบนลานสายตา หรือผู้รับการตรวจกดปุ่มเครื่องในระยะเวลาที่ไม่เหมาะสมกับการตอบสนองในคนปกติ เช่น กดก่อนหรือพร้อมกับไฟขึ้น เป็นต้น การตรวจสอบว่าผู้รับการตรวจเป็นกลุ่ม happy trigger สามารถตรวจสอบได้จากพารามิเตอร์ที่ปรากฏบนลานสายตา (รูปที่ 15) การแก้ไขในกรณีพบ trigger-happy field คือเน้นการอธิบายวิธีการทดสอบ การตอบสนองที่เหมาะสมเมื่อเห็นสิ่งกระตุ้น หลายครั้งพบว่ากลุ่ม happy trigger มักมีความกังวลในการตรวจ กังวลว่าจะมองไม่เห็นสิ่งกระตุ้น และอาจกังวลในตัวโรค การอธิบายข้อมูลทั้งโรคต่อหิน และวิธีตรวจลานสายตาจะช่วยคลายความกังวล และทำให้ผลการตรวจลานสายตามีความน่าเชื่อถือมากขึ้น



รูปที่ 15. แสดงลานสายตาชนิด trigger-happy field โดยดูจากลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ก. false positive errors สูงกว่าปกติ ข. ค่าความไวแสงในแต่ละจุดทดสอบสูงกว่าค่าปกติของประชากร ค. greyscales แสดงสีขาวกว่าปกติ ซึ่งให้สีไปตามค่าความไวแสงใน numerical threshold sensitivities ง. การเกิดจุดดำผิดปกติใน pattern deviation probability map ในขณะที่ total deviation probability map อยู่ในเกณฑ์ปกติ เรียกลักษณะเช่นนี้ว่า reversed cataract pattern จ. abnormally high sensitivity ใน glaucoma hemifield test ฉ. mean deviation มีค่าบวกมากกว่าปกติ และ ช. ลานสายตาแสดงค่าเตือนว่า excessive high false positives ทั้งนี้การมีลักษณะใดลักษณะหนึ่งหรือหลายอย่างประกอบกันอาจทำให้คิดถึง trigger-happy field ได้เช่นกัน

ความรุนแรงของโรคต้อหิน

การแบ่งความรุนแรงของโรคต้อหินโดยใช้ข้อมูลจากลานสายตาตามวิธีการหลากหลาย ขึ้นอยู่กับความนิยมและความง่ายในการใช้ในทางคลินิก ในบทความนี้จะขอยกตัวอย่างเกณฑ์การแบ่งความรุนแรงของโรคที่นิยมในทางคลินิก คือ Hoddap-Parrish-Anderson criteria (ตารางที่ 3⁽¹⁴⁾)

ตารางที่ 3. ความรุนแรงของโรคต้อหิน Hoddap-Parrish-Anderson criteria⁽¹⁴⁾

Early defect
MD less than -6 dB* Less than 25% of the points (18) are depressed below the 5% level and less than 10 points are depressed below the 1% level on the pattern deviation plot All point in the central 5° must have a sensitivity of at least 15 dB
Moderate defect
MD less than -12 dB* Less than 50% of the points (37) are depressed below the 5% level and less than 20 points are depressed below the 1% level on the pattern deviation plot No points in the central 5° can have a sensitivity of 0 dB Only one hemifield may have a point with sensitivity of <15 dB within 5° of fixation
Severe defect (any of the following results)
MD greater than -12 dB* More than 50% of the points (37) are depressed below the 5% level or more than 20 points are depressed below the 1% level on the pattern deviation plot At least one point in the central 5° has a sensitivity of 0 dB Points within the central 5° with sensitivity <15 dB in both hemifields

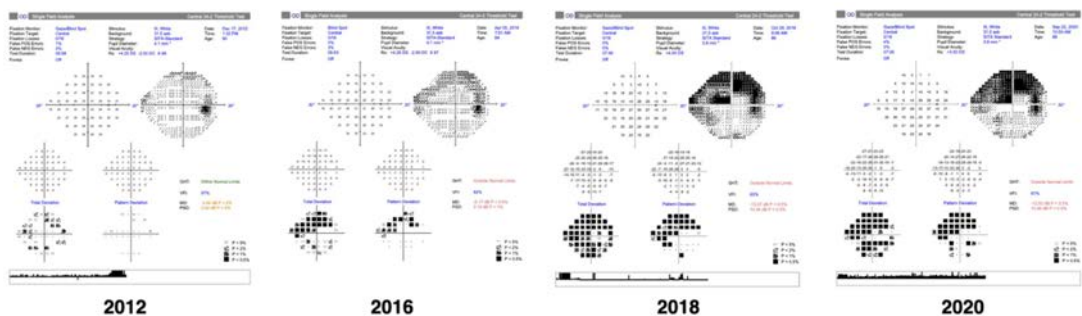
MD: mean deviation

การติดตามการดำเนินไปของโรคด้วยการตรวจลานสายตา

เราสามารถใช้การตรวจลานสายตา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการติดตามการดำเนินไปของโรคต้อหิน ประกอบเพิ่มเติมจากการตรวจข้อประสาทตา โดยกำหนดให้การตรวจลานสายตา 1-2 ครั้งแรกเป็นค่าพื้นฐานหรือค่าตั้งต้น (baseline) เพื่อใช้เปรียบเทียบกับลานสายตาในครั้งถัด ๆ

ไป เดิมทีการเปรียบเทียบลานสายตา มักต้องใช้ลานสายตาที่กำหนดรูปแบบการทดสอบชนิดเดียวกันเพื่อให้ง่ายในการแปลผล แต่ปัจจุบันโปรแกรมของเครื่องตรวจลานสายตาได้พัฒนามากขึ้น ทำให้สามารถเปรียบเทียบลานสายตาที่ใช้รูปแบบการทดสอบต่างกันได้ เช่น เครื่องตรวจลานสายตาชนิด Humphrey® field analyzer 3 (HPA3) version 1.5 การติดตามการเปลี่ยนแปลงของผลลานสายตา สามารถทำได้ 2 วิธีหลัก ๆ ได้แก่

1. Event-based analysis คือการวิเคราะห์ลานสายตาที่สนใจเปรียบเทียบกับ baseline ว่ามีความผิดปกติเพิ่มมากขึ้นหรือไม่ และปริมาณความผิดปกตินั้นเข้าได้กับลักษณะโรคต้อหินที่แย่งหรือไม่ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ด้วยจักษุแพทย์เอง (รูปที่ 16) หรือใช้โปรแกรมในเครื่องตรวจลานสายตาเพื่อการวิเคราะห์ (รูปที่ 18)



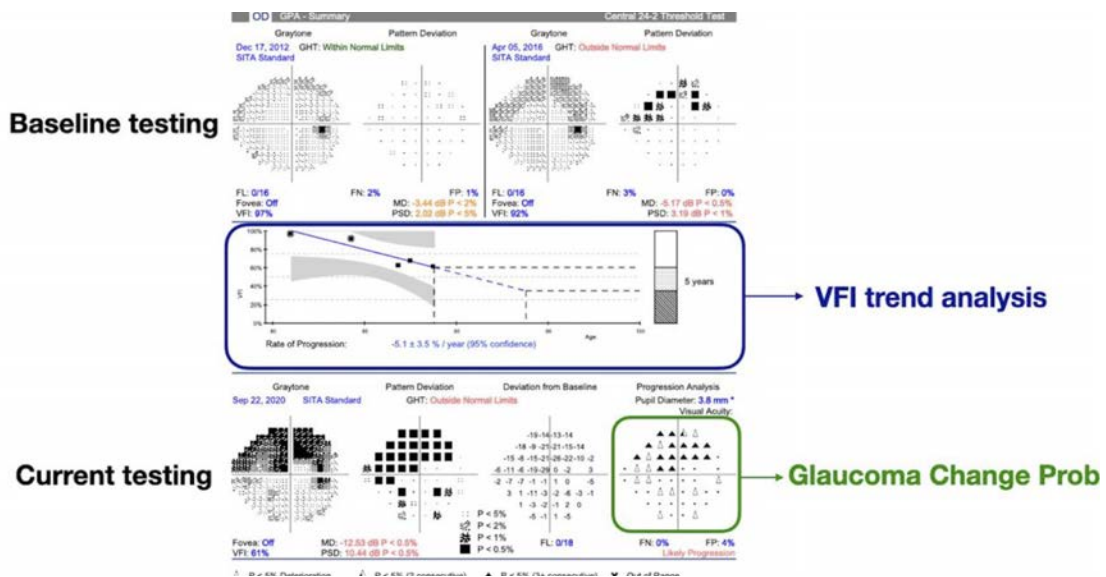
รูปที่ 16. รูปภาพแสดงลานสายตาที่ความผิดปกติมากขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปในผู้ป่วยคนเดียว

2. Trend-based analysis คือ การวิเคราะห์ลานสายตาในทุกช่วงเวลาที่สนใจ เพื่อประเมินความผิดปกติออกมาในรูปแบบกราฟเส้นตรง โดยแปรผลลักษณะโรคต้อหินที่แย่งจากค่าความชันของกราฟที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถคาดการณ์การมองเห็นในอนาคตของผู้ป่วย และสามารถประเมินความรุนแรงของโรคเป็นอัตราของลานสายตาที่แย่ง (rate of progression) ซึ่งจะมีผลต่อการอธิบายตัวโรค การรักษาและการเฝ้าติดตามผู้ป่วยต่อไป การวิเคราะห์ด้วยวิธี trend-based สามารถทำได้ด้วยจักษุแพทย์เอง หรือใช้โปรแกรมช่วยเช่นเดียวกับ event-based analysis (รูปที่ 18)

การติดตามการดำเนินไปของโรคโดยใช้โปรแกรมในเครื่องตรวจลานสายตา

เครื่องตรวจลานสายตาชนิด Humphrey® field analyzer เมื่อมีการเชื่อมต่อข้อมูลของผู้ป่วยเข้ากับฐานข้อมูล และโปรแกรมของเครื่องสามารถแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของลานสายตา ทั้งวิธี event-based และ trend-based analysis โดยใช้การวิเคราะห์ที่เรียกว่า guided progression analysis (GPA)

GPA (รูปที่ 17) ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ๆ คือ



รูปที่ 17. รูปภาพแสดง guided progression analysis (GPA) printout

1. Baseline testing โดยการใช้การตรวจลานสายตา 2 ครั้งแรกเป็นข้อมูลพื้นฐาน การเลือกข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์มีความสำคัญมาก เนื่องจากการวิเคราะห์การดำเนินไปของโรคอ้างอิงข้อมูลชุดนี้เป็นสำคัญ ควรเป็นลานสายตาที่น่าเชื่อถือ (acceptable reliability index) อยู่ในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน และหากมีการเปลี่ยนแปลงการรักษาควรเปลี่ยน baseline testing ใหม่ทุกครั้ง ข้อมูลในส่วนนี้ประกอบด้วย วันที่ตรวจ test strategy, reliability indices, greyscale, pattern deviation probability map และ visual field index ของลานสายตาแต่ละครั้ง

2. Current testing คือการนำผลการตรวจลานสายตาครั้งล่าสุดมาเปรียบเทียบกับ baseline ในการวิเคราะห์ แสดงผลข้อมูลของลานสายตาคล้ายกับ baseline testing โดยเพิ่ม numerical pattern deviation map

3. Glaucoma change probability (GCP) คือการแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของลานสายตา ด้วยวิธี event-based analysis โดยแสดงตำแหน่งของจุดทดสอบที่มีค่าความไวแสงลดลงเมื่อเทียบกับ baseline testing ซึ่งค่าความไวที่ลดลงต้องมีค่าเกินกว่าความแปรปรวนที่เกิดจากการทำการทดสอบ (test-retest variability) หรือลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < .05$) ค่าความไวของแสงที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญนั้นแสดงให้เห็นเป็นสัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยม ได้แก่



ค่าความไวของแสงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในการตรวจ 1 ครั้ง



ค่าความไวของแสงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในการตรวจ 2 ครั้ง



ค่าความไวของแสงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในการตรวจ 3 ครั้ง



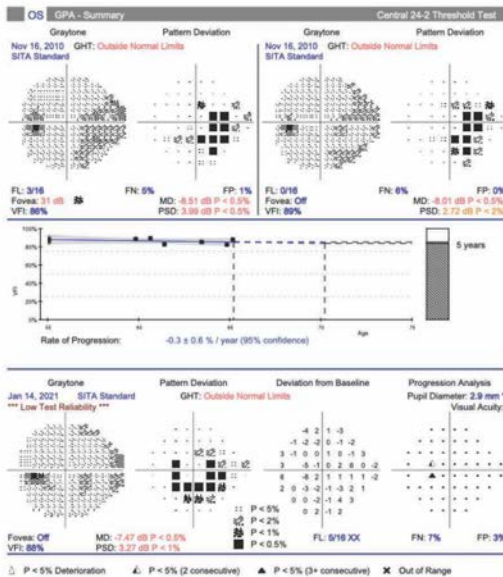
Out of range

หากค่าความไวแสงลดลงใน 3 จุดการทดสอบที่ติดกัน เป็นจำนวน 2 ครั้งของการตรวจที่ติดต่อกัน จะขึ้นข้อความเตือนว่า possible progression และถ้าเกิดขึ้นในการตรวจจำนวน 3 ครั้งที่ติดต่อกัน จะขึ้นข้อความเตือนว่า likely progression (รูปที่ 18ข)

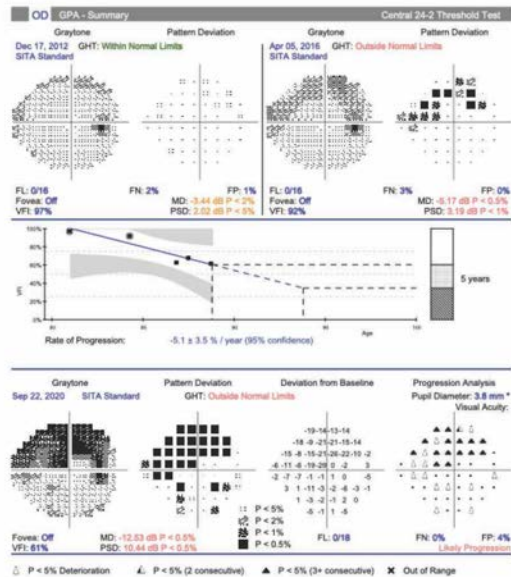
4. VFI trend analysis คือการแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของลานสายตา ด้วยวิธี trend-based analysis โดยใช้หลักการทางสถิติชนิด regression analysis นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณอัตราการลดลงของ VFI เป็น rate of progression แสดงให้เห็นที่ด้านล่างของกราฟ เพื่อบ่งบอกความรุนแรงของโรค และยังสามารถพยากรณ์ค่า VFI ในอีก 5 ปีข้างหน้าให้ผู้ป่วยได้อีกด้วย (รูปที่ 18ข)

ทั้งนี้การกำหนดให้เครื่องตรวจลานสายตาเลือกผลการตรวจลานสายตาได้ขึ้นมาเป็น baseline testing หรือ current testing สามารถกำหนดได้จากเครื่องตรวจลานสายตา หรือโปรแกรม FORUM® ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ติดตั้งเพิ่มเติมในคอมพิวเตอร์ โดยใช้ระบบการทำงานเชื่อมต่อจากเครื่องตรวจลานสายตาผ่านระบบ local area network (LAN)

ก



ข



รูปที่ 18. ก. แสดง guided progression analysis (GPA) ของผู้ป่วยที่มีลานสายตาคงที่ และ ข. ผู้ป่วยที่มีความผิดปกติของลานสายตาเพิ่มมากขึ้น ทั้งการวิเคราะห์ด้วย event-based และ trend-based

สรุป

การตรวจลานสายตา ประกอบด้วยความสำคัญ หลักการ รูปแบบการตรวจ และการแปลผลที่ต้องอาศัยการฝึกฝน เพื่อนำไปสู่การวินิจฉัย ติดตามการรักษา และการพยากรณ์โรคอย่างถูกต้องและเหมาะสม อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่แสดงในผลการตรวจ เป็นเพียงส่วนหนึ่ง ซึ่งต้องนำไปประกอบกับประวัติ การตรวจร่างกาย และการตรวจพิเศษอื่น ๆ และพึงระลึกเสมอว่า ผลการตรวจลานสายตานั้นมีความแปรปรวนได้จากหลายปัจจัย จึงควรนำผลมาใช้อย่างมีวิจารณญาณ เพื่อนำไปสู่การดูแลผู้ป่วยต่อให้เหมาะสม ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตที่ดีของผู้ป่วยต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Grzybowski A. Harry Moss Traquair (1875-1954), Scottish ophthalmologist and perimetrist. Acta Ophthalmol 2009;87:455-9.
2. Weinreb RN, Perlman JP. The effect of refractive correction on automated perimetric thresholds. Am J Ophthalmol 1986;101:706-9.

3. Artes PH, Iwase A, Ohno Y, Kitazawa Y, Chauhan BC. Properties of perimetric threshold estimates from Full Threshold, SITA Standard, and SITA Fast strategies. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43:2654-9.
4. Lavanya R, Riyazuddin M, Dasari S, Puttaiah NK, Venugopal JP, Pradhan ZS, et al. A Comparison of the Visual Field Parameters of SITA Faster and SITA Standard Strategies in Glaucoma. *J Glaucoma* 2020;29:783-8.
5. Heijl A, Patella VM, Chong LX, Iwase A, Leung CK, Tuulonen A, et al. A New SITA Perimetric Threshold Testing Algorithm: Construction and a Multicenter Clinical Study. *Am J Ophthalmol* 2019;198:154-65.
6. Thulasidas M, Patyal S. Comparison of 24-2 Faster, Fast, and Standard Programs of Swedish Interactive Threshold Algorithm of Humphrey Field Analyzer for Perimetry in Patients With Manifest and Suspect Glaucoma. *J Glaucoma* 2020;29:1070-6.
7. Callan T, Yu S, Lee GC, Covita A, Severin T. Evaluation of the SITA Faster 24-2C visual field test. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 2018;59:5111-.
8. Yamane MLM, Odel JG. Introducing the 24-2C Visual Field Test in Neuro-Ophthalmology. *J Neuroophthalmol* 2021;Publish Ahead of Print.
9. Lee GC, Monhart M, Callan T, Cunningham B, Yu S, Durbin MK, et al. Performance of a modified 24-2 test pattern using SITA Faster. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 2018;59:6032-.
10. Lee GC, Yu S, Callan T, Durbin MK, Covita A, Severin T. Diagnostic Efficacy of 24-2 and 24-2C SITA Faster Global Summary Indices. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 2019;60:2455-.
11. Phu J, Kalloniatis M. Ability of 24-2C and 24-2 Grids to Identify Central Visual Field Defects and Structure-Function Concordance in Glaucoma and Suspects. *Am J Ophthalmol* 2020;219:317-31.
12. Heijl A, Patella VM, Bengtsson B. *Excellent perimetry*. 5 ed 2021.
13. Heijl A, Krakau CE. An automatic static perimeter, design and pilot study. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1975;53:293-310.
14. Hodapp E PR, Anderson DR. *Clinical decision in glaucoma*. St. Louis: Mosby; 1993.
15. Keltner JL, Johnson CA, Cello KE, Edwards MA, Bandermann SE, Kass MA, et al. Classification of visual field abnormalities in the ocular hypertension treatment study. *Arch Ophthalmol* 2003;121:643-50.