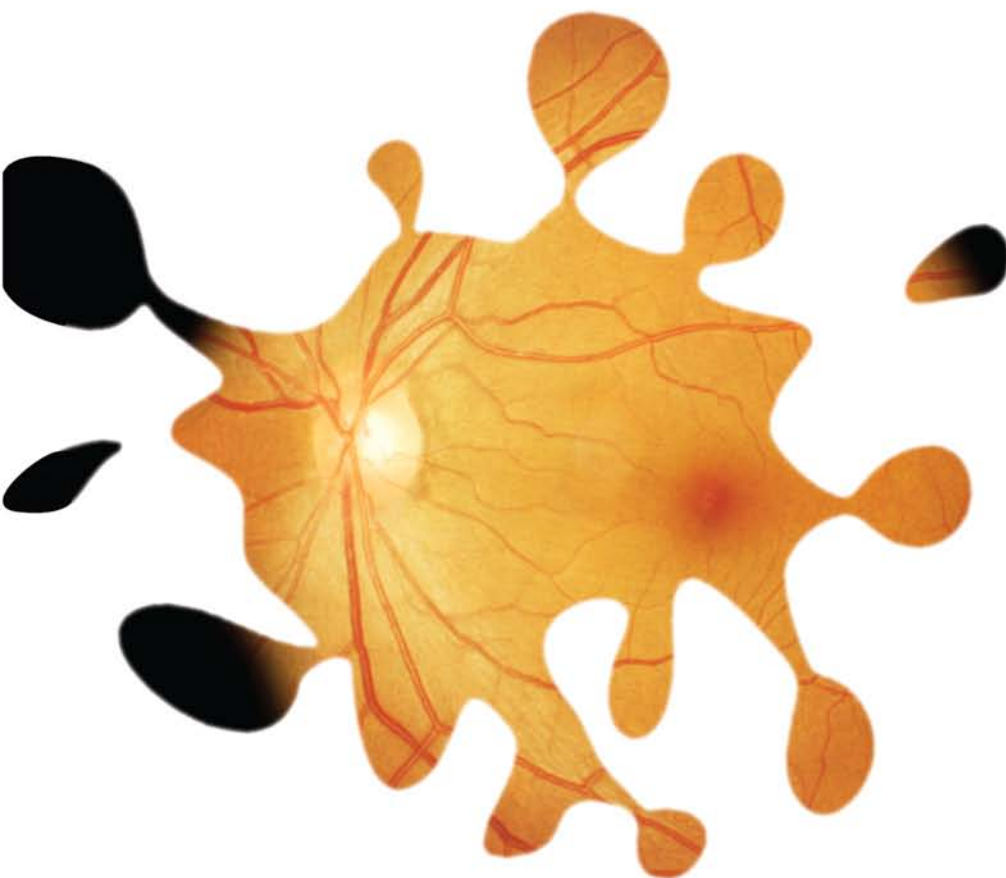




Fluorescein Angiography

การศึกษาหลอดเลือดจอตาด้วยการฉีดสีฟลูออเรสซิน
แมนสิงห์ รัตนสุคนธ์ บรรณาธิการ

Fluorescein Angiography

การศึกษาหลอดเลือดจอตาด้วยการฉีดสีฟลูออเรสซิน

บรรณาธิการ : แมนสิงห์ รัตนสุคนธ์

การศึกษาหลอดเลือดจอตาด้วยการฉีดสีฟลูออเรสซิน

: Fluorescein Angiography

ราคา 1,200 บาท

แมนลิ่งห์ รัตนสุคนธ์

การศึกษาหลอดเลือดจอตาด้วยการฉีดสีฟลูออเรสซิน = Fluorescein Angiography.
/ แมนลิ่งห์ รัตนสุคนธ์. -- พิมพ์ครั้งที่ 1. -- กรุงเทพฯ : สหมิตรพัฒนาการพิมพ์ (1992),
2557.

366 หน้า : ภาพประกอบ, ตาราง

ISBN 978-616-374-521-7

1. ตา, โรค -- การวินิจฉัย. 2. Eye Diseases -- diagnosis. I. คณะแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
WW141 ม879ก 2557

บรรณาธิการจัดการ : อนุพงศ์ นิติเรืองจรัส

บรรณาธิการ : แมนลิ่งห์ รัตนสุคนธ์

รูปเล่ม : หน่วยผลิตตำรา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
(พัชรินทร์ โพธิ์ทอง)

ปก : ธนากร อังกูรวัฒนกิจ

พิมพ์ที่ : สหมิตรพัฒนาการพิมพ์ (1992), กทม.

พิมพ์ครั้งที่ 1 : ธันวาคม 2557 (จำนวน 800 เล่ม)

พิมพ์ครั้งที่ 2 : มีนาคม 2563 (ebook)

จัดทำโดย ศาสตราจารย์นายแพทย์แมนลิ่งห์ รัตนสุคนธ์

ภาควิชาจักษุวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

จัดจำหน่ายโดย หน่วยผลิตตำรา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

15 ถนนกาญจนวนิช ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

โทร. 0-7445-1148 โทรสาร. 0-7421-2900

ติดต่อสั่งซื้อได้ที่ <http://medinfo2.psu.ac.th/bookunit/bookcorner.html>

(สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537)

แมนสิงห์ รัตนสุคนธ์

พ.บ., ว.ว. จักษุวิทยา

Certificate of fellowship in medical and surgical retina,

Sydney eye hospital, University of Sydney, Australia

ศาสตราจารย์ หน่วยจอตาและวุ้นตา

ภาควิชาจักษุวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ปฐมา ภูรยานนทชัย

พ.บ., ว.ว. จักษุวิทยา

Certificate of fellowship in vitreo-retinal disease,

Flinders medical centre, Department of Ophthalmology,

Flinders University, Adelaide, Australia

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หน่วยจอตาและวุ้นตา

ภาควิชาจักษุวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

พิชัย จิรรัตนโสภา

พ.บ., ว.ว. จักษุวิทยา

ประกาศนียบัตรจักษุแพทย์ต่อยอด สาขาจอตาและวุ้นตา

คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Certificate of fellowship in vitreo-retinal disease,

Department of Ophthalmology and Visual Sciences,

Kyoto University, Kyoto, Japan

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หน่วยจอตาและวุ้นตา

ภาควิชาจักษุวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ผู้สนับสนุน

วันทนีย์ แดงบุญ

พ.บ., ว.ว. จักษุวิทยา

อาจารย์ หน่วยจอตตาและวันตา

ภาควิชาจักษุวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วันทนีย์ ลีทธีวรากุล

พ.บ., ว.ว. จักษุวิทยา

Certificate of fellowship in uveitis, cornea and external disease,

Francis I. Proctor Foundation, University of California, San Francisco, USA

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หน่วยจักษุวิทยาภูมิคุ้มกันและการอักเสบ

ภาควิชาจักษุวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

AF, FAF	=	Fundus autofluorescence
AIDS	=	Acquired immunodeficiency syndrome
AMD	=	Age-related macular degeneration
BRAO	=	Branch retinal artery occlusion
BRVO	=	Branch retinal vein occlusion
BVOS	=	Branch vein occlusion study
CME	=	Cystoid macular edema
CMVR	=	Cytomegalovirus retinitis
CNV	=	Choroidal neovascularization
COMS	=	Collaborative ocular melanoma study
CQ	=	Chloroquine
CRAO	=	Central retinal artery occlusion
CRVO	=	Central retinal vein occlusion
CSC	=	Central serous chorioretinopathy
CSME	=	Clinically significant macular edema
CVOS	=	Central vein occlusion study
DME	=	Diabetic macular edema
DR	=	Diabetic retinopathy
DRCR.net	=	Diabetic retinopathy clinical research network
DRS	=	Diabetic retinopathy study

คำย่อ

DRVS	=	Diabetic retinopathy vitrectomy study
EOG	=	Electro-oculogram
ERG	=	Electroretinogram
ETDRS	=	Early treatment diabetic retinopathy study
FA	=	Fluorescein angiography
GA	=	Geographic atrophy
HIV	=	Human immunodeficiency virus
HRVO	=	Hemi-retinal vein occlusion
ICGA	=	Indocyanine green angiography
IMT	=	Idiopathic macular telangiectasia
IR	=	Infrared
IRMA	=	Intraretinal microvascular abnormality
MP	=	Macular photocoagulation
MPS	=	Macular photocoagulation study
NPDR	=	Nonproliferative diabetic retinopathy
NV	=	Neovascularization
NVA	=	Neovascularization of angle
NVD	=	Neovascularization at disc
NVE	=	Neovascularization elsewhere
NVG	=	Neovascular glaucoma

คำย่อ

NVI	=	Neovascularization of iris
OCT	=	Optical coherence tomography
OIS	=	Ocular ischemic syndrome
PCV	=	Polypoidal choroidal vasculopathy
PDR	=	Proliferative diabetic retinopathy
PDT	=	Photodynamic therapy
PRP	=	Panretinal photocoagulation
RAP	=	Retinal angiomatous proliferation
RAPD	=	Relative afferent pupillary defect
RP	=	Retinitis pigmentosa
RPE	=	Retinal pigment epithelium
RPED, PED	=	Retinal pigment epithelial detachment
RVO	=	Retinal vein occlusion
VEGF	=	Vascular endothelial growth factor
VHL	=	Von Hippel-Lindau disease
VKH syndrome	=	Vogt-Koyanagi-Harada syndrome
XLRS	=	X-linked juvenile retinoschisis

	หน้า
Fluorescein angiography: ความรู้พื้นฐาน	
บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานของ fluorescein angiography [The basic principles of fluorescein angiography] แมนลิ่งห์ รัตนสุคนธ์	3
บทที่ 2 วิธีการทำและผลข้างเคียงของ fluorescein angiography [The techniques and complications of fluorescein angiography] แมนลิ่งห์ รัตนสุคนธ์	11
บทที่ 3 การแปลผล fluorescein angiography [The interpretation of fluorescein angiography] แมนลิ่งห์ รัตนสุคนธ์	23
Fluorescein angiography: ในโรคต่าง ๆ ที่พบบ่อย	
บทที่ 4 Fluorescein angiography ในโรคจุดภาพชัดเสื่อมในผู้สูงอายุ [Fluorescein angiography in age-related macular degeneration] แมนลิ่งห์ รัตนสุคนธ์	47
บทที่ 5 Fluorescein angiography ในโรค polypoidal choroidal vasculopathy [Fluorescein angiography in polypoidal choroidal vasculopathy] แมนลิ่งห์ รัตนสุคนธ์	97

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 6 Fluorescein angiography ในโรค pathologic myopia [Fluorescein angiography in pathologic myopia] แมนสิงห์ รัตนสุคนธ์	121
บทที่ 7 Fluorescein angiography ในโรคจุดภาพชัดบวมน้ำ [Fluorescein angiography in central serous chorioretinopathy] แมนสิงห์ รัตนสุคนธ์	135
บทที่ 8 Fluorescein angiography ในโรค idiopathic macular telangiectasia [Fluorescein angiography in idiopathic macular telangiectasia] แมนสิงห์ รัตนสุคนธ์	147
บทที่ 9 Fluorescein angiography ในโรคหลอดเลือดโป่งพองขนาดใหญ่ของจอตา [Fluorescein angiography in retinal macroaneurysm] แมนสิงห์ รัตนสุคนธ์	155
บทที่ 10 Fluorescein angiography ในกลุ่มโรคหลอดเลือดอุดตัน [Fluorescein angiography in vascular occlusive diseases] แมนสิงห์ รัตนสุคนธ์	163
บทที่ 11 Fluorescein angiography ในโรคหลอดเลือดทางกายที่พบบ่อย [Fluorescein angiography in common systemic vascular diseases] แมนสิงห์ รัตนสุคนธ์	201

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 12 Fluorescein angiography ในโรคทางพันธุกรรมของจอตาที่พบบ่อย [Fluorescein angiography in common inherited retinal diseases] แมนลิ่งห์ รัตนสุคนธ์	227
บทที่ 13 Fluorescein angiography ในโรคที่เกิดจากสารพิษต่อจอตาที่พบบ่อย [Fluorescein angiography in common retinal toxicity] แมนลิ่งห์ รัตนสุคนธ์	245
บทที่ 14 Fluorescein angiography ในกลุ่มโรคจอตาและคอรอยด์อักเสบที่พบบ่อย [Fluorescein angiography in common retinal and choroidal inflammatory diseases] วันทนีย์ ลีทธีวรากุล แมนลิ่งห์ รัตนสุคนธ์	259
บทที่ 15 Fluorescein angiography ในเนื้องอกของตาที่พบบ่อย [Fluorescein angiography in common ocular tumors] ปฐมา ภูรยานนทชัย แมนลิ่งห์ รัตนสุคนธ์ วันทนีย์ แดงบุญ	293

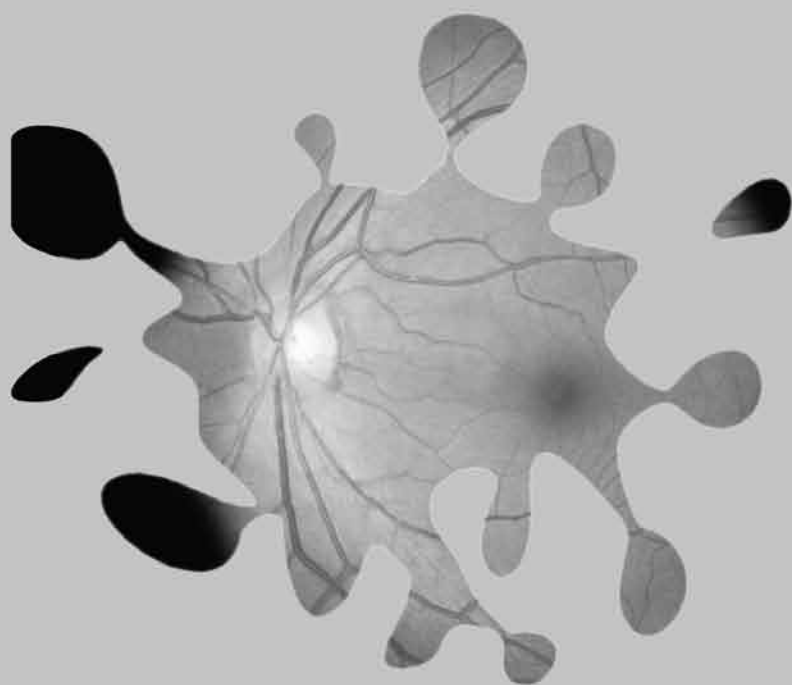
สารบัญ

	หน้า
บทที่ 16 The autofluorescence	321
แมนสิงห์ รัตนสุคนธ์	
วันทนีย์ แดงบุญ	
พิชัย จิรรัตนโสภา	
ดัชนี	337
Index	341

Fluorescein angiography:

ความรู้พื้นฐาน

- ❑ ความรู้พื้นฐานของ fluorescein angiography
[The basic principles of fluorescein angiography]
 - ❑ วิธีการทำและผลข้างเคียงของ fluorescein angiography
[The techniques and complications of fluorescein angiography]
 - ❑ การแปลผล fluorescein angiography
[The interpretation of fluorescein angiography]
- 



Fluorescein Angiography



บทที่



ความรู้พื้นฐานของ fluorescein angiography

[The basic principles of fluorescein angiography]

แมนสิงห์ รัตนสุคนธ์

กรอบเนื้อหา

- ☐ บทนำ
- ☐ คุณสมบัติทางเคมี
- ☐ คุณสมบัติในการดูดซับและปล่อยแสง
- ☐ อุปกรณ์การทำ fluorescein angiography

บทนำ

การศึกษาหลอดเลือดจอตาด้วยการฉีดสีฟลูออเรสซินหรือ fluorescein angiography (FA) คือ การตรวจโรคต่าง ๆ ของจอตาด้วยวิธีพิเศษที่แตกต่างจากการตรวจด้วย direct หรือ indirect ophthalmoscope กล่าวคือเป็นการฉีดสีและถ่ายภาพเพื่อตรวจหลอดเลือดของชั้นจอตาและคอรอยด์ (retinal and choroidal circulation) ทั้งในภาวะที่มีการทำงานของหลอดเลือดผิดปกติและในภาวะที่เกิดหลอดเลือดงอกใหม่ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการตรวจรักษา วินิจฉัยและติดตามผลการรักษาร่วมกับการตรวจพิเศษอื่น ๆ เช่น อัลตราซาวด์ indocyanine green angiography (ICGA) หรือ optical coherence tomography (OCT) เป็นต้น เพื่อให้ได้ความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด ดังนั้นจักษุแพทย์จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีความเข้าใจและคุ้นเคยกับการตรวจด้วยวิธีนี้ โดยเฉพาะในกรณีการตรวจรักษาโรคของจอตาที่พบบ่อย

คุณสมบัติทางเคมี¹⁻⁵

การศึกษาหลอดเลือดจอตาด้วยการฉีดสีฟลูออเรสซิน (fluorescein angiography, FA) จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือที่ประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพจอตาและสีที่ทำให้เกิดภาพ โดยสีนี้จะต้องมีคุณสมบัติพิเศษในการดูดซับและปล่อยแสงในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้แพทย์สามารถตรวจวินิจฉัยโรคได้อย่างถูกต้อง

สีโซเดียมฟลูออเรสซิน (sodium fluorescein) ได้ถูกสังเคราะห์โดย von Baeyer¹ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1871 และมีการนำมาใช้ในการทำ fluorescein angiography อย่างประสบความสำเร็จในทางจักษุวิทยาโดย Novotny และคณะ² ในปี ค.ศ.1961 โดยทั่วไปสีฟลูออเรสซินจะมีสูตรโมเลกุลคือ $C_{20}H_{12}O_5$ แต่ในทางคลินิกจะใช้ในรูปของเกลือโซเดียมหรือโซเดียมฟลูออเรสซิน (อีกชื่อหนึ่งคือ uranin) ที่มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{20}H_{12}O_5Na^{3,4}$ สีนี้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสีเหลืองแดง มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 376.27-376.67 ดาลตัน (dalton)^{1,3,4} พบว่าหลังฉีดเข้าสู่ร่างกายทางหลอดเลือดดำจะถูกเปลี่ยนอย่างรวดเร็วเป็น fluorescein glucuronide แต่ยังคงคุณสมบัติในการเรืองแสง (fluorescence) เหมือนเดิม โดยค่าครึ่งชีวิต (terminal half-life) ของฟลูออเรสซินและ fluorescein glucuronide ในพลาสมาเท่ากับ 23.5 นาทีและ 264 นาที (ประมาณ 4-5 ชั่วโมง) ตามลำดับ⁵ หลังจากนั้นสีจะจับกับโปรตีนในเลือดโดยเฉพาะกับโปรตีนชนิดแอลบูมิน (albumin)¹ ประมาณร้อยละ 80 (50-84%) และจับกับเม็ดเลือดแดงร้อยละ 15-17 ซึ่งไม่สามารถทำให้เกิดภาพได้ ดังนั้นจึงมีไม่เกินร้อยละ 20 ของสีเท่านั้นที่จะกระจายไปตามเนื้อเยื่อและหลอดเลือดทำให้เกิดการดูดซับและปล่อยแสงขึ้น นอกจากนี้พบว่าที่ pH 7.4 ซึ่งใกล้เคียงกับ pH ของเลือดจะเป็น pH ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสีฟลูออเรสซินที่จะเกิดกระบวนการดังกล่าว³

สำหรับการกำจัดสีฟลูออเรสซิน พบว่าสีจะผ่านตับและไตและถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ ภายใน 24 ถึง 36 ชั่วโมงหลังจากการฉีด (ร้อยละ 90 ของสีจะถูกขับออกจากร่างกายภายใน 48 ชั่วโมง) ผิวหนังจะมีสีเหลืองและจะจางหายไปภายใน 6-12 ชั่วโมง ส่วนปัสสาวะของผู้ป่วยจะมีสีเหลืองเช่นกัน แต่จะใช้เวลามากกว่าในการจางลงคือจะจางหายไปภายใน 24-36 ชั่วโมง สำหรับผู้ป่วยที่ให้นมบุตรพบว่าสีฟลูออเรสซินจะถูกขับออกมาทางน้ำนมเช่นกัน จึงแนะนำให้งดให้นมบุตรเป็นเวลาอย่างน้อย 2 วัน หลังจากทำ FA นอกจากนี้ผู้ป่วยที่มีปัญหาในการทำงานของไตจะขับสีได้ช้าลง แต่ยังสามารถทำการตรวจ FA ได้เพียงแต่มีข้อแนะนำให้ลดปริมาณสีลง¹

คุณสมบัติในการดูดซับและปล่อยแสง^{1,4-6}

สีฟลูออเรสซินมีคุณสมบัติพิเศษในการทำให้เกิดการเรืองแสงหรือ fluorescence พบว่าสีจะดูดซับแสง (absorption) ที่ความยาวคลื่น 465-490 นาโนเมตร (แสงสีน้ำเงิน) โดยแสงความยาวคลื่นนี้จะไปทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลของสีถูกกระตุ้นไปสู่บริเวณที่มีพลังงานสูงขึ้น จากนั้นเมื่ออิเล็กตรอนกลับสู่ภาวะปกติจะปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงหรือปล่อยแสง (emission) ที่มีความยาวคลื่นต่างจากแสงเดิมที่มากกระตุ้น คือมีความยาวคลื่น 520-530 นาโนเมตร (แสงสีเขียวหรือเหลืองเขียว) ซึ่งคุณสมบัติพิเศษนี้เองที่สามารถนำไปสู่การตรวจโรคทางจอตาโดยเฉพาะโรคที่เกี่ยวกับความผิดปกติของหลอดเลือดได้เป็นอย่างดี กล่าวคือเมื่อจักษุแพทย์ฉีดสีเข้าทางหลอดเลือดดำและกระตุ้นด้วยแสงที่ผ่านตัวกรองสีน้ำเงิน (blue filter) จะพบว่ามีแต่แสงสีน้ำเงินเท่านั้นไปตกกระทบบริเวณจอตาที่มีสีฟลูออเรสซิน จากนั้นจะใช้ตัวกรองสีเขียว (green filter) เพื่อกรองแสงสีเขียวที่สะท้อนกลับออกมาจากจอตาและบันทึกลงในฟิล์มหรือในคอมพิวเตอร์ทำให้ได้ภาพรายละเอียดต่าง ๆ ของโรคในที่สุด

อุปกรณ์การทำ fluorescein angiography^{1,4,7,8}

การทำ FA จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือที่ทันสมัยและซับซ้อนอันประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง ตัวกรองแสงและเครื่องบันทึกภาพ โดยมีรายละเอียดคือ

1. กล้องถ่ายภาพและเครื่องมือช่วยถ่ายต่าง ๆ
2. ตัวกรองแสง (filters)
3. ฟิล์มสำหรับถ่ายภาพในระบบอนาล็อก (analog system) หรือเครื่องคอมพิวเตอร์บันทึกภาพในระบบดิจิทัล (digital system)
4. สีฟลูออเรสซินและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการฉีดสีเข้าทางหลอดเลือดดำ
5. อุปกรณ์ช่วยชีวิตในกรณีฉุกเฉิน (emergency equipment)

1. กล้องถ่ายภาพและเครื่องมือช่วยถ่ายต่าง ๆ

การถ่ายภาพเพื่อตรวจจอตาด้วยการฉีดสีฟลูออเรสซินมีการทำกัน 2 ระบบ คือ ระบบอนาล็อก (analog system) และระบบดิจิทัล (digital system) โดยระบบอนาล็อกเป็นระบบที่มีใช้มาก่อน กล่าวคือเป็นการถ่ายภาพและบันทึกลงในฟิล์มขาวดำขนาด 35 มิลลิเมตร ทำให้เกิดภาพในลักษณะ positive และ negative จักษุแพทย์จำเป็นต้องเข้าใจและคุ้นเคยในการแปลผลภาพจากแผ่นฟิล์มขาวดำ นอกจากนี้ในระบบอนาล็อกจำเป็นต้องมีขั้นตอนในการล้างฟิล์มคล้ายกับการถ่ายรูปทั่ว ๆ ไป ทำให้ต้องใช้เวลามากและไม่สามารถรักษาผู้ป่วยได้ในทันทีหลังจากการฉีดสี ระบบนี้จึงได้รับความนิยมน้อยลงมากและแทบไม่มีใช้อยู่แล้วในปัจจุบัน ส่วนระบบดิจิทัลซึ่งเป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเป็นระบบที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลและบันทึกภาพที่เกิดจากอุปกรณ์ถ่าย ทำให้เกิดภาพในลักษณะภาพเสมือนจริง (real-time image) กล่าวคือสามารถเห็นภาพและบันทึกพร้อมทั้งดูภาพซ้ำหรือเปรียบเทียบได้ในทันทีระหว่างทำการฉีดสี ทำให้จักษุแพทย์ทำการรักษาโรคต่าง ๆ ได้ทันทีและรวดเร็ว ไม่จำเป็นต้องนัดผู้ป่วยมาฟังผลในครั้งต่อไป นอกจากนี้ภาพที่ได้ยังสามารถกำหนดความกว้างหรือขอบเขตของภาพที่ต้องการได้ เช่น ความกว้างของภาพขนาด 30 องศาสำหรับการศึกษาบริเวณจุดภาพชัด (macula) หรือ 50-60 องศาสำหรับศึกษาจอตาในบริเวณกว้าง เป็นต้น อย่างไรก็ตามเครื่องมือนี้จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนมากขึ้นจึงมีราคาแพงกว่าในระบบอนาล็อก นอกจากนี้ระบบดิจิทัลในปัจจุบันยังแบ่งเป็นอีกสองระบบใหญ่คือ flash fundus camera system และ scanning laser ophthalmoscope system (SLO system) โดยสองระบบนี้มีความแตกต่างกัน^{7,8} ดังนี้ (ตารางที่ 1)

- **Flash fundus camera system;** ใช้แสงไฟซินนอน (single pulse xenon flashlamp) เป็นตัวกำเนิดแสง (light source) ทำให้เกิดภาพถ่ายขึ้น แต่มีข้อเสียที่ไม่สามารถถ่ายได้เร็วมากจนเกิดภาพเคลื่อนไหวได้ กล่าวคือถ่ายได้ประมาณ 1 ภาพต่อวินาที อย่างไรก็ตามภาพที่เกิดขึ้นมีความละเอียดสูงประมาณ 1,024 x 1,024 พิกเซล (pixel) หรือมากกว่า มีความสามารถถ่ายภาพได้กว้างกว่า (field of view) คือได้ถึงประมาณ 50 องศา และราคาไม่แพงนักเมื่อเทียบกับระบบ SLO

- **Scanning laser ophthalmoscope system (SLO system);** ใช้แสงเลเซอร์เป็นตัวกำเนิดแสง ทำเป็น laser beam ลงไปในจอตาเป็นจุด ๆ ทำให้ได้ภาพที่คมชัดและสามารถลดแสงสะท้อนออกไปได้มาก ภาพที่ได้จะมีความชัดเจนมาก (high contrast) โดยเฉพาะในช่วงแรกของการฉีดสี นอกจากนี้ยังสามารถถ่ายได้ถึงมากขึ้นคือประมาณ 20-30 ภาพต่อวินาที จึงสามารถพัฒนาทำให้เกิดเป็นภาพเคลื่อนไหวได้ แต่อย่างไรก็ตามระบบนี้จะมีความกว้างของภาพ (field of view) น้อยกว่าคือประมาณ 30-40 องศา (แต่ในปัจจุบันบางเครื่องสามารถถ่ายได้กว้างขึ้นด้วยเลนส์เฉพาะหรือเทคนิคพิเศษ) และมีความละเอียดของภาพน้อยกว่าในระบบ flash fundus camera คือประมาณ 256 x 256 พิกเซล ถึง 768 x 768 พิกเซล ยกเว้นในบางเครื่องที่สามารถทำ high resolution mode ซึ่งจะได้ความละเอียดที่สูงขึ้น

2. ตัวกรองแสง (filters)

เป็นอุปกรณ์ที่ติดอยู่ภายในกล้องถ่ายภาพโดยอาศัยหลักการของสฟลูออเรสซินที่สามารถถูกกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่นหนึ่งและปล่อยแสงออกมาในอีกความยาวคลื่นหนึ่ง ดังนั้นโดยทั่วไปในกล้องถ่ายภาพระบบ flash fundus camera จึงมีตัวกรองแสงที่ประกอบไปด้วย ตัวกรองที่ทำให้เกิดการกระตุ้น (exciting filter) อันได้แก่ ตัวกรองแสงสีน้ำเงินที่ทำให้เกิดแสงที่มีความยาวคลื่น 465-490 นาโนเมตร ไปตกกระทบจอตาและกระตุ้นสฟลูออเรสซินให้เกิดการปล่อยแสง (emission) อีกสีออกมา ซึ่งได้แก่ แสงสีเขียวความยาวคลื่น 520-530 นาโนเมตร โดยกล้องจะมีตัวกรองแสงสีเขียว (barrier filter) มาคอยดักภาพที่สะท้อนออกมาจากจอตาและบันทึกลงในคอมพิวเตอร์ในที่สุด (ภาพประกอบที่ 1.1) ดังนั้นภาพที่เกิดขึ้นจึงคมชัดเนื่องจากได้ผ่านตัวกรองแสงเฉพาะสีที่ต้องการบันทึก สีต่าง ๆ ที่ไม่ได้เกิดจากกระบวนการเหล่านี้จะถูกตัดออกไป อย่างไรก็ตามหากตัวกรองแสงทั้งสองทำงานผิดปกติ เช่น ตัวกรองแสงสีเขียวไม่สามารถกันแสงสีอื่นได้ อาจทำให้แสงสีน้ำเงินที่สะท้อนกลับออกมาจากจอตา (และเป็นส่วนที่ไม่ได้เกิดจากกระบวนการปล่อยแสงหรือ emission ของสฟลูออเรสซิน) ถูกบันทึกเป็นภาพ ทำให้เกิดกรณีที่เรียกว่า pseudofluorescence ขึ้น กล่าวคือเป็นภาพที่ไม่ได้เกิดขึ้นจริงจากกระบวนการดังกล่าวของสฟลูออเรสซินนั่นเอง

สำหรับกล้องถ่ายภาพในระบบ SLO จะใช้แสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตรเป็นตัวกระตุ้นสฟลูออเรสซิน (exciting light) และใช้ตัวกรองแสงสีเขียว (barrier filter) ความยาวคลื่นประมาณ 500 นาโนเมตร⁹ เป็นตัวดักภาพที่ปล่อยออกมาจากจอตา (ตารางที่ 1) และบันทึกภาพลงในคอมพิวเตอร์เช่นกัน

3. फिल्मสำหรับถ่ายภาพในระบบอนาล็อกหรือเครื่องคอมพิวเตอร์บันทึกภาพในระบบดิจิทัล

ในอดีตการถ่ายภาพในระบบอนาล็อกจำเป็นต้องอาศัยเวลาในการล้างฟิล์ม ทำให้ไม่สามารถทราบผลการตรวจหรือรักษาผู้ป่วยได้อย่างทันท่วงที รวมถึงมีความยุ่งยากในการเก็บรักษาข้อมูลต่าง ๆ ระบบนี้จึงแทบไม่มีที่ใช้อยู่แล้วในปัจจุบัน ดังนั้นการบันทึกและแสดงผล FA ในหนังสือเล่มนี้จะแสดงภาพในลักษณะภาพดิจิทัลทั้งหมด

4. สฟลูออเรสซินและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการฉีดสีเข้าทางหลอดเลือดดำ

สฟลูออเรสซินที่ใช้ในปัจจุบันนิยมใช้สารละลาย 10% fluorescein ปริมาณ 5 มิลลิลิตรหรือสารละลาย 5% fluorescein ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้สีประมาณ 500 มิลลิกรัมหรือไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักหนึ่งกิโลกรัม ส่วนในผู้ป่วยเด็กมีข้อแนะนำให้ใช้สารละลาย 10% fluorescein ขนาด 0.1 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักหนึ่งกิโลกรัม¹ สำหรับอุปกรณ์ในการฉีดสีจะประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐานโดยทั่วไป ได้แก่ เข็มฉีดยา 21 หรือ 23 ร่วมกับกระบอกฉีดยาขนาด 5 หรือ 10 มิลลิลิตร สายรัด (tourniquet) ที่วางแขนและอุปกรณ์ฆ่าเชื้อต่าง ๆ

5. อุปกรณ์ช่วยชีวิตในกรณีฉุกเฉิน (emergency equipment)

แม้จะพบว่าการทำ FA มีความปลอดภัยค่อนข้างสูง แต่ก็พบอัตราการเกิดการแพ้แบบ anaphylactic reaction ได้ประมาณ 1 ใน 100,000 ราย¹⁰ ดังนั้นจึงควรมีอุปกรณ์ช่วยชีวิตพื้นฐานเตรียมพร้อมไว้เสมอในบริเวณใกล้เคียง

ตารางที่ 1 ความแตกต่างในคุณสมบัติต่าง ๆ ระหว่างกล้องถ่ายภาพในระบบ flash fundus camera และระบบ scanning laser ophthalmoscope

	Flash fundus camera system	SLO system
Light source	xenon flashlamp	laser light (wavelength 488 nm. for FA and 785-790 nm. for ICGA)
Capture speed	low	high*
Field of view	up to 50°	30-40° **
Spatial resolution (pixels)	higher	lower ***
Temporal resolution	low	high
Contrast	low	high
Fundus detail	less	better ****

* สามารถถ่ายเป็นภาพต่อเนื่องเช่น ภาพวิดีโอ ได้

** ยกเว้นในบางเครื่องจะสามารถถ่ายได้กว้างขึ้นด้วยเลนส์เฉพาะหรือเทคนิคพิเศษ

*** ยกเว้นในเครื่องที่มี high resolution mode ที่ทำให้มีความละเอียดของภาพสูงขึ้น

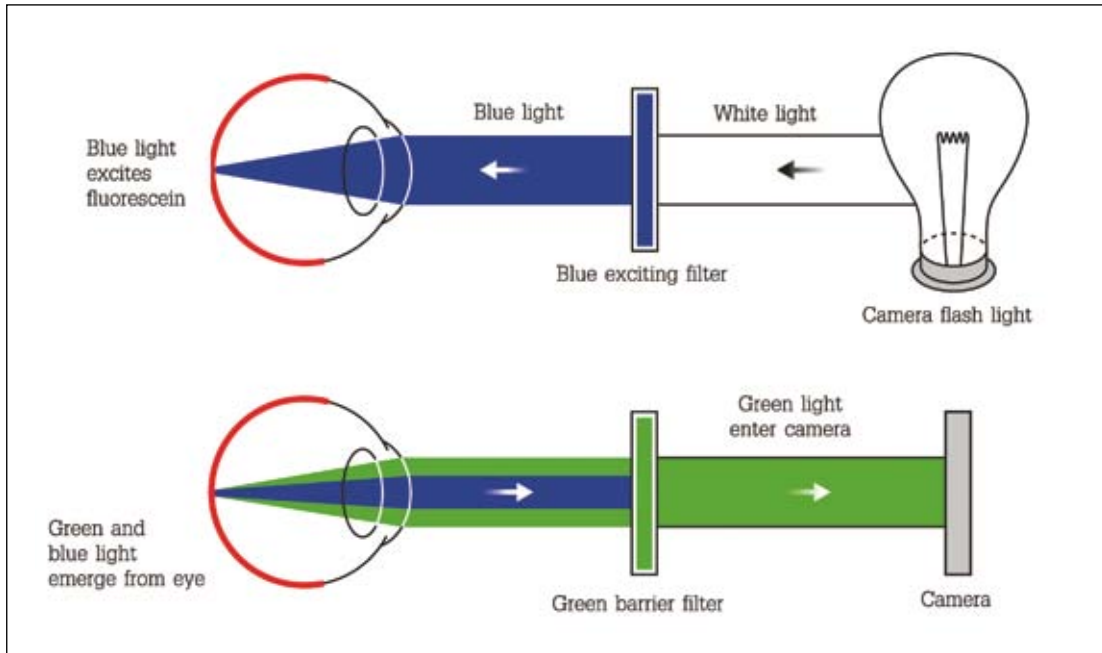
**** จะเห็นได้ชัดกว่าโดยเฉพาะในช่วงแรกของการไหลเวียนของเลือดในคอรอยด์ (early detail of choroidal circulation)

SLO = scanning laser ophthalmoscope

nm. = nanometre

FA = fluorescein angiography

ICGA = indocyanine green angiography



ภาพประกอบที่ 1.1 การทำงานของตัวกรองแสง (filters) ของกล้องถ่ายภาพ fluorescein angiography ในระบบ flash fundus camera

ภาพแสดงการทำงานของตัวกรองแสง (filters) ของกล้องถ่ายภาพ fluorescein angiography ในระบบ flash fundus camera โดยเมื่อแสงจากกล้องพร้อมแสงแฟลช (flash) ผ่านตัวกรองแสงแรก คือ ตัวกรองแสงสีน้ำเงิน (blue exciting filter) จะทำให้มีแต่แสงสีน้ำเงินเท่านั้นผ่านเข้าสู่จอตา จากนั้นสีฟลูออเรสซินในจอตาจะถูกกระตุ้นและปล่อยแสงสีเขียวออกมา ซึ่งเมื่อนำตัวกรองแสงที่สอง คือตัวกรองแสงสีเขียว (green barrier filter) วางหน้าจอร์ับภาพในคอมพิวเตอร์จะทำให้ได้ภาพที่เกิดจากกระบวนการของ fluorescein angiography ในที่สุด