



# การผ่าตัดต้อหินในตาหญาเสียชีวิต และตากระต่าย มีชีวิตด้วยเครื่องมือผ่าตัดต้อหินแบบเชื่อมอัตโนมัติ

ชัยพร แผ่แพทยคุณ<sup>1</sup> ศุภชัย วงศ์พิเชษฐชัย<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาจักษุ ไลต คอ นาสิก ลาริงซ์วิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

<sup>2</sup>ภาควิชาไลต คอ นาสิก ลาริงซ์วิทยา วิทยาลัยแพทยศาสตร์พระมงกุฎเกล้า

## บทคัดย่อ

การผ่าตัดต้อหินแบบ full-thickness ด้วยเครื่องมือผ่าตัดต้อหิน แบบเชื่อมอัตโนมัติหมุนขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า และควบคุมด้วยกลไกอิเล็กทรอนิกส์ (automated trephine) ในตาหญาเสียชีวิต 10 ตา และตากระต่ายมีชีวิต 1 ตา ในตาหญาผ่าตัดจากภายนอกแบบ external approach (ab externo) จำนวน 8 ตา และผ่าตัดจากภายในแบบ internal approach (ab interno) จำนวน 2 ตา ส่วนตากระต่าย ผ่าตัดจากภายนอกแบบ external approach (ab externo) เครื่องมือผ่าตัด automated trephine ที่ใช้ในการวิจัยนี้สามารถผ่าตัดกระจกตาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร ได้ block ที่ดีขอบแผลเรียบ ในตาหญาและตากระต่ายสามารถสร้างรอยบุ๋มที่เยื่อตา conjunctival bleb ได้ดี และในการผ่าตัดแบบ internal approach (ab interno) สามารถสร้างรอยบุ๋มที่เยื่อตาค่อนไปทางด้านหลังซึ่งเป็น conjunctival bleb ที่ดีกว่า และไม่มีภัยอันตรายต่อเยื่อตาเลย ในตากระต่ายมีชีวิตได้ติดตามผลการผ่าตัดนาน 6 เดือน ปรากฏว่าการผ่าตัดสามารถลดความดันภายในลูกตาได้ราว 40% จาก 16 เหลือ  $9.6 \pm 0.4$  มิลลิเมตรปรอท ซึ่งเป็นผลสำเร็จดียิ่งในการควบคุมโรคต้อหิน (ความดันลูกตาดำกว่า 12 คือ ประมาณ 10 มิลลิเมตรปรอท) และไม่มีโรคแทรกซ้อน เช่น ตาอักเสบ ติดเชื้อรุนแรง ต้อกระจก การอักเสบภายในเนื้อเยื่อลูกตา ความดันลูกตาดำกว่าปกติ และกระจกตาเสื่อมเป็นฝ้า

**คำสำคัญ:** เครื่องมือผ่าตัดต้อหินแบบเชื่อมอัตโนมัติ หมุนขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

### ผู้รับผิดชอบหลัก:

ชัยพร แผ่แพทยคุณ

ภาควิชาจักษุ ไลต คอ นาสิก ลาริงซ์วิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

62 หมู่ 7 ต.อ.นครินทร์ อ.อ.นครินทร์ จ.นครนายก 26120

อีเมลล์: [chaiya\\_pp@hotmail.com](mailto:chaiya_pp@hotmail.com)

# The fully automated trephine full-thickness glaucoma surgery in cadaveric pig's eyes and live rabbit's eyes

Chaipayon Paepattayakun<sup>1</sup>, Supachai Vongpichatchai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Ophthalmology & OtoRhinoLaryngology, Faculty of Medicine, Srinakharinwirot University

<sup>2</sup>Department of OtoRhinoLaryngology, Faculty of Medicine, Phramongkutklo College of Medicine

## Abstract

Pilot study with fully automated trephine full-thickness glaucoma surgery in 10 cadaveric pig's eye and 1 live rabbit's eye; in 8 external approach (ab externo) and 2 internal approach (ab interno) in pig's eyes ; 1 rabbit's eye external approach (ab externo). The machine can cut cornea well 0.8 millimeter diameter and have good block clean cut ; in pig's eyes and rabbit's eye can create good form conjunctival bleb and in internal approach it can form non-traumatic conjunctival bleb more posteriorly. live rabbit's eye after follow up for 6 months it can reduce intra ocular pressure (IOP) about 40% from 16 to  $9.6 \pm 0.4$  millimeter mercury which is the excellent result to control glaucoma (IOP below 12 around 10 millimeter mercury) and there are no complications such as endophthalmitis, cataract, uveitis, hypotony, and corneal decompensate.

**Keywords:** automated trephine, electrical motor, glaucoma

### Corresponding author:

Chaipayon Paepattayakun

Department of Ophthalmology & OtoRhinoLaryngology, Faculty of Medicine, Srinakharinwirot University

62 Moo 7 Ongkharak, Nakhon-Nayok 26120

E-mail: [chaiya\\_pp@hotmail.com](mailto:chaiya_pp@hotmail.com)

## ■ บทนำ

ในปี ค.ศ.1909 หรือ พ.ศ.2452 Elliot RH และ Fergus F ได้อธิบายถึงกรรมวิธีการผ่าตัดต้อหินโดยใช้เข็มเจาะบริเวณขอบกระจกตา ตรงบริเวณรอยต่อกับตาขาวว่าได้ผลในการผ่าตัดรักษาต้อหิน ต่อมา Sugar HS ได้ทำการศึกษากการผ่าตัดชนิดนี้นานถึง 11 ปี และรายงานสนับสนุนในวารสารการแพทย์ Archives of ophthalmology ในปี ค.ศ. 1971 หรือ พ.ศ.2511 ในปี ค.ศ.1982 หรือ พ.ศ.2525 Brown RH และคณะได้รายงานกรรมวิธีการผ่าตัดต้อหิน โดยใช้เข็มเจาะจากกระจกตาด้านตรงข้ามผ่านช่องหน้าลูกตาโดยไม่รบกวนเยื่อตาบริเวณที่จะทำการเจาะช่องระบายน้ำเลี้ยงลูกตา และได้รายงานผลการทดลองในตาดลิงในวารสารการแพทย์ Archives of ophthalmology

ในปี ค.ศ.1987 หรือ พ.ศ.2530 และในปี ค.ศ.1988 หรือ พ.ศ.2531 Brown RH และคณะได้รายงานผลการผ่าตัดชนิดนี้ในตามนุษย์ผู้ป่วยจำนวน 7 ราย ว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ และเรียกชื่อเครื่องมือผ่าตัดที่ประดิษฐ์นี้ว่า automated trephine โดยอธิบายตัวเครื่องประกอบด้วยเข็มมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.9 มิลลิเมตร เป็นทอกลวงซึ่งสามารถฉีดน้ำที่บริเวณส่วนปลายเพื่อคงความลึกของช่องลูกตาได้ ตัวเข็มประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนหน้ายาว 3 มิลลิเมตร ปลายเรียวและคม จะเป็นส่วนหมุนเพื่อตัดชิ้นเนื้อส่วนหลังเป็นเข็มยาว 9 มิลลิเมตร อยู่หนึ่งกับที่เพื่อป้องกันอันตรายต่อเนื้อเยื่อบริเวณใกล้เคียงตัวเข็มหมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นแบตเตอรี่และบังคับการหมุนด้วยแป้นเหยียบ 2 จังหวะความเร็ว คือ รอบซ้ำที่ 60-300 รอบต่อนาที และรอบความเร็วสูง 3,000 รอบต่อนาที เมื่อเหยียบแป้นเหยียบอย่างเต็มที่

การผ่าตัดจะสอดเข็มเข้าทางด้านตรงข้ามของบริเวณที่ต้องการเจาะโดยใช้เข็มทะลุกระจกตาผ่านช่องหน้าลูกตาและตะส่วนปลายเรียวที่บริเวณมุตตา เหยียบแป้นหมุนมอเตอร์แล้วค่อยๆ ใช้มือดันเข็มให้หมุนตัดชิ้นเนื้อจนทะลุเข้าไปในส่วนใต้เยื่อตา ขณะทำการผ่าตัดจะใช้สารละลายผ่านปลายเข็มเจาะเพื่อคงสภาพความลึกของช่องหน้าลูกตาในผู้ป่วย 1 รายและใช้เข็มช่วยอีก 1 อันเจาะทะลุกระจกตาเข้าด้านข้างของเข็มที่เจาะเพื่อเป็นทางผ่านของสารละลายเพื่อคงสภาพความลึกของช่องหน้าลูกตาในผู้ป่วย 3 ราย ส่วนผู้ป่วยที่เหลืออีก 4 รายใช้สารชั้นหนืดบรรจุในช่องหน้าลูกตาเพื่อคงสภาพความลึกของช่องหน้าลูกตา จะสังเกตได้ว่าเครื่องมือดังกล่าวยังมีข้อบกพร่องอยู่คือ

1. จะต้องใช้เข็มสารละลายช่วย หรือต้องใช้สารชั้นหนืดจึงจะคงสภาพความลึกของช่องหน้าลูกตาได้ดี
2. ส่วนปลายที่หมุนยาวถึง 3 มิลลิเมตร และไม่มีส่วนป้องกันทำให้เกิดอุบัติเหตุ ทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อมุตตาและมุตตาบริเวณใกล้เคียงส่วนปลาย 3 มิลลิเมตรนั้นได้
3. ขณะทำการเจาะเนื้อเยื่อต้องใช้มือค่อยๆ ดันเครื่องมือเข้าไป โดยเครื่องมือไม่สามารถดันเนื้อเยื่อตัวเองโดยอัตโนมัติ และไม่หยุดเองโดยอัตโนมัติ แพทย์ผู้ทำการผ่าตัดต้องปล่อยแป้นเหยียบ เครื่องจึงจะหยุด ในบางกรณีอาจเกิดอุบัติเหตุเข็มเจาะทะลุเยื่อตาได้ทำให้การผ่าตัดล้มเหลว
4. เข็มและชุดอุปกรณ์ส่วนหัวของเครื่องเป็นชิ้นเดียวกัน ถ้าต้องการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเข็มจะต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ส่วนหัวเครื่องทั้งชุด

## ■ วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาวิจัยประสิทธิภาพของเครื่องผ่าตัดต้อหินแบบเข็มอัตโนมัติ และเพื่อศึกษาวิจัยประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการผ่าตัดแบบ full-thickness trephine filtering surgery แบบ external approach (ab externo)

## ■ วิธีการศึกษา

1. เพื่อพัฒนาเครื่องมือผ่าตัดต้อหินแบบเข็มให้เป็นแบบอัตโนมัติ สะดวก ประหยัด และปลอดภัยในการใช้ทำการผ่าตัด โดยใช้ระบบกลไกและอิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุม
2. การประดิษฐ์นี้จะแก้ข้อบกพร่องของเครื่องมืออยู่เดิมโดยมีหลักการคือ
  - 2.1 ระบบฉีดหรือดูดสารละลาย หรือสารชั้นหนืดหรือชั้นเนื้อ และระบบดูดสารละลายหรือสารชั้นหนืดทั้ง 2 ระบบ แยกต่างหากเป็นอิสระต่อกัน แต่ร่วมทำงาน โดยระบบแรกฉีดสารละลายหรือสารชั้นหนืดผ่านปลายกลวงของเข็มเจาะเพื่อช่วยคงสภาพความลึกของช่องหน้าลูกตาขณะเริ่มสอดปลายเครื่องมือเข้าไปในช่องหน้าลูกตา
  - ระบบที่ 2 ช่วยฉีดสารละลายหรือสารชั้นหนืดผ่านรูข้างของท่อเข็มหุ้มเพื่อคงสภาพความลึกของช่องหน้าลูกตาเมื่อเข็มอยู่ในช่องลูกตาแล้วระบบแรกจะมีหน้าที่หนึ่งคือจะเป็นระบบดูด ดูดชิ้นเนื้อที่จะตัดให้เข้ามาอยู่ในปลายเข็มเพื่อการหมุนเจาะตัดที่ดี และเป็นระบบฉีดขับชิ้นเนื้อให้ออกจากเข็มเจาะเข้าไปอยู่ใต้เยื่อตาตามความต้องการของจักษุแพทย์หรือจะดูดชิ้นเนื้อที่ตัดแล้วออกจากตาก็ได้ ตลอดจนการ

ผ่าตัดจึงไม่ต้องมีเข็มช่วยอื่นๆ ที่เจาะทะลุกระดูกตา เพื่อคงสภาพความลึกของช่องหน้าลูกตาจึงช่วยลดภัยอันตรายต่อกระดูกตา

2.2 ตัวเข็มเจาะจะมีท่อเข็มอีก 1 อัน สวมหุ้มตลอดความยาวของเข็มเจาะโดยสวมร่วมแกนกันและเข็มด้านนอกจะอยู่ร่วมกับที่จี้เป็นตัวป้องกันไม่ให้เข็มเจาะขณะที่หมุนด้วยความเร็วเป็นตัวทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อภายในตาบริเวณใกล้เคียง คือ เนื้อเยื่อมันตา มุมตา กระจุกตา แก้วตา และวุ้นตา

2.3 ขณะทำการเจาะเนื้อเยื่อโดยเข็มเจาะตัวหมุนด้วยความเร็วรอบแกน แพทย์ไม่ต้องใช้มือค่อยๆ ดันเครื่องมือเข้าไปเจาะตัดเนื้อเยื่อเหมือนเครื่องมืออื่น เพียงแต่แพทย์กดกลไกเข็มเจาะตัดหมุนจะหมุนตัดเนื้อเยื่อด้วยแรงสปริงและมอเตอร์ของเครื่อง และเมื่อได้ความลึกตามความต้องการเข็มหมุนจะตัดจะหยุดได้เองโดยอัตโนมัติ โดยมีกลไก และวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวควบคุมสามารถตั้งระดับความลึกในการเจาะตัดของเครื่องได้โดยละเอียดตั้งจะได้อธิบายในหัวข้อการเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

2.4 ขนาดเข็มเจาะและท่อเข็มหุ้มสามารถถอดประกอบหรือเปลี่ยนได้โดยจักษุแพทย์โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ส่วนหัวเครื่องทั้งชุดเพียงแต่เปลี่ยนเข็มเจาะท่อเข็มหุ้มซึ่งเข้าชุดกันได้หลายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเข็ม

2.5 ตัวเครื่องสามารถฆ่าเชื้อได้ด้วยเอทที่ลินอ็อกไซด์ไฮโดรเจนพลาสมา และฟอร์มาลดีไฮด์ อธิบายโดยละเอียดการตั้งระยะหยุดอัตโนมัติ ให้ดูรูป 1 ถึง 6 ประกอบ

เมื่อตั้งระยะถอยตามที่อธิบายในรูปที่ 5 แล้ว ตัวปลอกหุ้มมอเตอร์ (17) เกลียวส่วนหน้า (21) มอเตอร์ (14) สปริง (15) แหวนรอง (16) ตัวจับเข็ม (8) และเข็มเจาะ (1) รวมทั้งตั้บลูกปืน (10) และแป้นบังคับ (9) จะถอยหลังเท่าการตั้งระยะถอยดังกล่าว ระยะการเคลื่อนที่ของแกนกลางมอเตอร์ (32) จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 2.5 มิลลิเมตร ในภาวะก่อนการหมุนหรือระยะเตรียมพร้อมใช้งาน แกน (32) จะถอยหลังมากที่สุด คือ 2.5 มิลลิเมตร เสมอ วงจรสวิทช์ S1จะเป็นวงจรปิดดังกล่าว

ไกสปริง (11) ปลายด้านในจะแตะสัมผัสกับแกนบังคับ (9) โดยจะวางแตะตามแนวรัศมีของ (9) ซึ่งจะเป็นระยะยืดหยุ่นในการปรับตำแหน่งเพื่อให้ (1)(9)(10)(8)(16)(32) ถอยกลับสุดที่ระยะ 2.5 มิลลิเมตร และช่วยให้สปริง (15) เก็บแรงศักย์ เมื่อกดไก (11) สปริง (15) จะส่งดันเข็มเจาะ (1) ร่วมกับการหมุนของมอเตอร์ดังกล่าว ขอบยกตัวอย่างดังนี้

ในระยะเตรียมพร้อมใช้งานดังกล่าว (รูป 5.1) ส่วนปลายเข็มเจาะ (1) ยื่นพ้นปลายเข็ม (2) เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร เมื่อกดไกสปริง (11) (automatic trigger) ระยะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าสุดของแกนต่อเนื่องจนถึง (1) ดังกล่าว จะเคลื่อนที่ไปเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร รวมเข็มเจาะไกลที่สุด 3 มิลลิเมตร (รูป 5.1)

ถ้าต้องการเจาะ 1.2 มิลลิเมตร preset automatic stop ให้ระยะถอยหลัง 1.8 มิลลิเมตร (3-1.2) โดยตั้งระยะตามรูป 5.2 โดยวงแหวนเกลียว (13) ถอยหลัง 1 รอบ (1 มิลลิเมตร) และสเกลอีกถึงเลข 8 รวมถอยหลัง 1.8 มิลลิเมตร และดำเนินการต่อจนถึงรูป 5.4 ปลายเข็มเจาะ (1) ถอยมาอยู่ในปลายเข็ม (2) 0.5-1.8 เท่ากับ -1.3 มิลลิเมตร กดไก (11) เบาๆ ปลายไกด้านในจะวางแตะบนแป้นบังคับ (9) เพื่อดันให้แกน (32) ถอยกลับคือ ถอย 2.5 มิลลิเมตร เสมอ เมื่อเหยียบสวิทช์ให้ S2 และควบคุม R1เมื่อเหยียบมากขึ้นความเร็วมอเตอร์จะหมุนได้เร็วมากขึ้นตามต้องการ แต่ปลายเข็ม (1) จะหมุนในเข็ม (2) โดยไม่ทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อภายในลูกตา เช่น มันตา กระจุกตา เลนส์แก้วตา เมื่อกดไกสปริง (11) เข็มเจาะ (1) จะถูกดันให้เคลื่อนไปข้างหน้า 2.5 มิลลิเมตร แล้วหยุดตามที่อธิบายไว้ในรูปที่ 3 (preset automatic stop) รวมระยะเจาะเนื้อเยื่อมุมมันตา (trabecular meshwork) เท่ากับ  $2.5-1.3 = 1.2$  มิลลิเมตร

## ■ การถอดหรือประกอบเครื่องมือผ่าตัดต้อหินแบบเข็มอัตโนมัติ

การถอดประกอบเครื่องมือ ให้ดูรูปที่ 2 แสดงโครงสร้างภายในและรูปที่ 4 ส่วนหัวของเครื่อง ตัวเครื่องประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ 1. ส่วนหัวของเครื่อง (23) 2. ส่วนกลาง (29) 3. ส่วนท้าย ห้องมอเตอร์ (17) โดยสามารถแยกแต่ละส่วนออกจากกันได้ โดยระบบหมุนเกลียว ชั้นแรกการประกอบเครื่องเสียบปลั๊กสายไฟกับบริเวณท้ายที่หัวต่อสายไฟเลข (18) กับหัวปลั๊ก (41) ประกอบแป้นบังคับ (9) ซึ่งมีตั้บลูกปืน (10) อยู่ภายในสวมเข้าส่วนปลายเข็มเจาะ (1) และเสียบเข้าบริเวณรูกกลางของเกลียวปิดด้านหลัง (25) ดังรูปที่ 4 ชั้นโครงส่วนหัว (23) เข้ากับผนังส่วนต่อกลางของตัวเครื่อง (29) ต่อจากนั้นวางหัวเข็มของท่อเข็มเลข (2) ที่ปลายของเข็ม (1) ขยับเบาๆ ท่อเข็ม (2) จะสวมกับเข็ม (1) พอดีหลังจากนั้นหมุนชั้นเข็มเลข (2) ไปตามเกลียวของหัวจับ (3) เป็นอันประกอบเครื่องเสร็จ ต่อสายน้ำเกลือ ซึ่งต่อกับกระบอกฉีดยาโดยตรงที่หัวเข็ม (4) และ (5) โดยหัวเข็ม (4) เพื่อฉีดสารละลายหรือสารชั้นหนืดออกที่รูด้านข้างของท่อเข็ม (28)

และเข็มท้อ (5) สำหรับดูดหรือฉีดออกจากปลายเข็มเจาะ (1) เสียบอีกขั้วหนึ่งของสายไฟฟ้า (42) กับตัวเครื่องควบคุม และเสียบหัวเสียบของแป้นบังคับด้วยเท้า (S2+R1) เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์เข้ากับเครื่องควบคุมต้องเช็คควาแบบเตอร์มีกำลังไฟเพียงพอหรือไม่ โดยทดลองเหยียบแป้นบังคับด้วยเท้าจนสุด และกดไก (11) ของรูปที่ 2 หากระบบถูกต้องเข็มจะหมุนด้วยความเร็วสูงและเคลื่อนตัวออกมาพันปลายท่อเข็ม (2) ตามความลึกที่ตั้งไว้และจะหยุดตัวเองโดยอัตโนมัติแม้แพทย์จะยังมีได้ปล่อยแป้นเหยียบ (S2+R1) และยังคงไกสปริง (11) อยู่

## ■ ขั้นตอนการผ่าตัด Surgical procedure

สามารถใช้เครื่องมือผ่าตัดนี้ ผ่าตัดต้อหินได้ทั้งจากภายนอก (ab externo) โดยวิธี fornix - base โดยเปิดเยื่อตาเพียง 2 มิลลิเมตร บริเวณขอบกระจกตา เนื่องจากปลายเครื่องมือผ่าตัดนี้มีขนาดเล็กมากประมาณ 0.9 มิลลิเมตร และไม่ต้องตัด Tenon's capsule แล้วจึงห้ามเลือดเบาๆ อย่่าตั้งกำลังในการจี้สูงเกินไป

หรือสามารถใช้เครื่องมือผ่าตัดต้อหินจากภายใน (ab interno) โดยเจาะกระจกตาด้านตรงข้ามผ่านช่องหน้าลูกตาไปเจาะมุมตาด้านที่ต้องการโดยไม่เป็นอันตรายต่อเยื่อตาบริเวณที่ต้องการเจาะ (ตามวิธีการที่เคยอธิบายไว้ โดย Brown, R.H. et al. ซึ่งลงตีพิมพ์ในวารสารการแพทย์ Ophthalmology. June 1988; 95:6 โดยฉีด viscoelastic material ผ่าน paracentesis ล้วงหน้า หรือมีกรรมวิธีซึ่งต่างดั่งนี้ สามารถฉีดสารละลายหรือสารขึ้นเหน็ดจากปลายเข็มเจาะ (1) เข้าไปในช่องหน้าลูกตาเมื่อเริ่มสอดปลายเข็มเข้าไป โดยผ่านท่อ (4) ตามรูปที่ 1 และเมื่อเข็มเข้าไปอยู่ในช่องหน้าลูกตา anterior chamber (A.C.) แล้วสามารถฉีดสารละลายหรือสารขึ้นเหน็ดผ่านเข้าเข็ม (1) และมุมตาบริเวณใต้ต่อเยื่อตา ด้านที่ต้องการเจาะซึ่งฉีดสารละลาย balance salt solution ให้สูงจนไว้

เมื่อตรวจดูว่าไม่มีเนื้อเยื่ออยู่ที่ปลายเข็มเจาะ (1) จึงแตะปลายเข็มเจาะบริเวณ trabecular meswork ในแนวทำมุม 45° กับขอบกระจกตา โดยมองผ่าน Zeiss 4 mirror indirect gonioscopy ผ่านกล้องจุลทรรศน์ผ่าตัดแล้วจึงเหยียบแป้นเหยียบเบาๆ เข็มจะเริ่มหมุนด้วยความเร็วรอบช้า ถ้าไม่มีเนื้อเยื่อของม่านตาหลุดเข้าไปในเข็มเจาะ ม่านตาหรือรูม่านตาไม่ขยับเขยื้อนตามจังหวะการหมุนของเข็มเจาะ ให้ดูดเนื้อเยื่อ trabecular meswork เข้ามาในปลายเข็มเจาะโดยดูดผ่านเข็ม (4) (ดูรูป 1-6 ประกอบ) แล้วจึงเหยียบแป้นบังคับ

ความเร็วมอเตอร์จนสุดจะได้ความเร็วรอบของมอเตอร์สูงสุด และกดไกบังคับ (11) จนสุด แป้นบังคับ (9) จะถูกปล่อยให้เคลื่อนไปข้างหน้าด้วยแรงสปริงของสปริง (15) ดันเข็มเจาะ (1) ให้ปลายเข็มเจาะเนื้อเยื่อตามต้องการจนทะลุเข้าไปในช่องว่างใต้เยื่อตา ซึ่งถูกยกขึ้นด้วย balance salt solution โดยส่วนด้าน anterior ตาม anatomical position จะทะลุก่อน แล้วเข็มจะหยุดเมื่อเคลื่อนไปข้างหน้าได้ 1.2 มิลลิเมตร ตามที่ตั้งไว้ล่วงหน้า ดังกล่าว คิดว่าระยะ 1.2 มิลลิเมตร เป็นระยะที่ดีที่สุดเพราะ

ตามกายวิภาคของตาหนู ขอบกระจกตาหนา 1.0 มิลลิเมตร ถ้าเข็มเจาะทำมุม 45° ของ 1.0 มิลลิเมตร การตั้งพิกัดล่วงหน้าไว้ 1.2 มิลลิเมตร จะเหมาะสม (ดังอธิบายไว้แล้วโดยละเอียดในการตั้งระยะหยุดอัตโนมัติล่วงหน้า) จะเจาะ trabecular meshwork ได้ทะลุ เพื่อลดอันตรายต่อเนื้อเยื่อเนื้อผนังลูกตา episclera หรือไม่รบกวนต่อ tenon หรือ ม่านตา แก้วตา ในการผ่าตัดแบบ ab interno

ตามกายวิภาคของตากระต่าย ขอบกระจกตาหนา 0.8 มิลลิเมตร ถ้าเข็มเจาะทำมุม 45° ของ 0.8 มิลลิเมตร การตั้งพิกัดล่วงหน้าไว้ 1.0 มิลลิเมตร จะเหมาะสม (ดังอธิบายไว้แล้วโดยละเอียดในการตั้งระยะหยุดอัตโนมัติล่วงหน้า) จะเจาะ trabecular meshwork ได้ทะลุ เพื่อลดอันตรายต่อเนื้อเยื่อ episclera ม่านตา แก้วตา ในการผ่าตัดแบบ ab interno

## ■ การวิจัยในตาหมูเสียชีวิต 10 ตา โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. ผ่าตัดตาหมูในกระจกตา 2 ตา เพื่อดูความคมของเข็มเจาะ รูปแบบการเจาะ พิกัด การเจาะ และระบบหยุดอัตโนมัติของเครื่องมือผ่าตัดต้อหินแบบเข็มอัตโนมัติหมุนขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์และกลไก
  2. ผ่าตัดตาหมูแบบ full-thickness trephine fornix-based (ab externo) 6 ตา
  3. ผ่าตัดตาหมูแบบ full-thickness trephine จากด้านใน (ab interno) 2 ตา ทำการศึกษาในตากระต่ายมีชีวิต 1 ตาแบบ full-thickness trephine fornix - based (ab externo) 1 ตา
- ผ่าตัดตากระต่ายมีชีวิตแบบ full-thickness trephine fornix-based (ab externo) โดยวัดความดันลูกตาด้วย Perkin applanation ก่อนผ่าตัดได้ 16 มิลลิเมตรปรอท โดยทำ paracentesis บริเวณอื่น ฉีด amvis plus ไกล่บริเวณผ่าตัด superior 12 น form ช่องหน้าลูกตาให้เกือบเต็ม แล้ว

เกาะเยื่อบุตาจากขอบ limbus บริเวณ 11 น ถึง 13 น ยาวราว 3 มิลลิเมตร โดยไม่ต้องตัด Tenon's capsule จึง stop bleeding เบาๆ เพื่อลด trauma

แล้วแตะปลายเข็ม (1) ที่บริเวณ limbo sclera ทำมุมตั้งฉากกับกระจกตา ฟุ้งปลายเข็ม (1) เข้าสู่ A.C. เขี่ยยบแป้นบังคับจนสุดโดยกดไก (11) ไม่ต้องดันเครื่องมือเลย เข็มจะหมุนเจาะฟุ้งไปข้างหน้าโดยอัตโนมัติอย่างรวดเร็ว และหยุดอัตโนมัติที่ระยะ 1.0 มิลลิเมตร ตามที่ตั้งไว้ล่วงหน้า เมื่อยกเครื่องมือออกจากตากระต่าย trephine button ของ limbo sclera จะโผล่ขึ้นมา ใช้ปากคีบดึงออกได้เลย โดยไม่ต้องตัด แล้ว iris จะมาจุกขอบ sclerotomy ตัด iridectomy แล้วฉีดน้ำตันขอบ iris เข้าที่เดิมไม่ต้องดูด amvisc plus ออก แล้วเย็บปิดเยื่อบุตาที่กระจกตาด้วย nylon 10-0, 2 เข็ม หยอดยาฆ่าเชื้อเป็นระยะในระหว่างผ่าตัด เมื่อผ่าตัดเสร็จใช้ Perkin appplanation วัดอีกครั้งได้ 9 มิลลิเมตรปรอท ไม่มี flat anterior chamber กระต่ายฟื้นตัวได้ดี

## ■ ผลการศึกษา

1. ในตาหมู่ 2 ตา ผ่าตัดที่กระจกตา ความรวดเร็วในการหมุนเจาะและความคมของเข็มเจาะ ดีมาก รูปแบบการเจาะในกระจกตาเป็นรูปท่อนขอบแผลเรียบมี trauma รอบๆ แผลน้อยมาก พิกัดการเจาะ ความหนาในการเจาะได้ตามที่กำหนดไว้ล่วงหน้า 1.2 มิลลิเมตร และระบบการเจาะสามารถหยุดได้อัตโนมัติตามที่ต้องการ

2. ผ่าตัดตาหมู่แบบ full-thickness trephine fornix-based (ab externo) 6 ตา ความเร็วของการหมุนเจาะ ความคมในการเจาะดีมาก รูปแบบการเจาะบริเวณ limbo-sclera เป็นรูปท่อน block ในการเจาะดี สบายงาม trauma รอบแผลน้อยมาก พิกัดการเจาะทะลุเข้า anterior chamber ได้ดี ได้ ความหนาในการเจาะตามกำหนดล่วงหน้า 1.2 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางการเจาะ 0.8 มิลลิเมตร และระบบเจาะหยุดได้เองโดยอัตโนมัติตามความต้องการ หลังผ่าตัด filtering bleb form ได้ดี anterior chamber form ได้ดี

3. ผ่าตัดตาหมู่จากด้านใน (ab interno) 2 ตาเจาะทะลุ limbo-scleral ได้ดี ไม่มี trauma ต่อ surrounding tissue เช่น iris lens cornea; filtering bleb form ได้ดี ค่อนไปทาง posterior บริเวณใกล้ pars plana

4. ผ่าตัดในตากระต่ายมีชีวิต แบบ full-thickness trephine fornix-based (ab externo) 1 ตา ความเร็วของการหมุนเจาะ ความคมในการเจาะดีมาก รูปแบบการเจาะ

บริเวณ limbo-sclera เป็นรูปท่อน block ในการเจาะดี สบายงาม trauma รอบแผลน้อยมาก พิกัดการเจาะทะลุเข้า anterior chamber ได้ดี ได้ความหนาในการเจาะตามกำหนดล่วงหน้า 1.0 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางการเจาะ 0.8 มิลลิเมตร และระบบเจาะหยุดได้เองโดยอัตโนมัติตามความต้องการ หลังผ่าตัด filtering bleb form ได้ดี anterior chamber form ได้ดี สามารถลดความดันลูกตาได้จาก 16 มิลลิเมตรปรอท ก่อนผ่าตัดเหลือ 9 มิลลิเมตรปรอท หลังผ่าตัดทันที กระต่ายฟื้นตัวจากยาสลบได้ดี หลัง post-op 3 วัน กระต่ายดูดี ตาไม่แดง ไม่มี subconjunctiva hemorrhage filtering bleb ดูดี ไม่มี complication ไม่มี flat anterior chamber ไม่มี endophthalmitis กินอาหารได้และติดตามผล 6 เดือน ได้ค่าเฉลี่ยความดันลูกตา =  $9.6 \pm 0.4$  มิลลิเมตรปรอท จากเดิม 16 มิลลิเมตรปรอท จึงลดค่าความดันลูกตาได้ 40%

## ■ อภิปรายผล

1. อภิปรายประสิทธิภาพของเครื่องมือผ่าตัดต้อหินแบบเข็มอัตโนมัติ เครื่องมือผ่าตัดต้อหินแบบเข็มอัตโนมัติ หมุนขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า บังคับการหยุดด้วยกลไกและอิเล็กทรอนิกส์สามารถบังคับควบคุมในการเจาะและหยุดโดยอัตโนมัติตามความลึกที่ตั้งไว้โดยตัวเครื่องมือเองโดยไม่ต้องอาศัยแพทย์ผู้ผ่าตัดเป็นผู้ควบคุม (preset automatic stop)

ใช้ระบบอัตโนมัติในการควบคุมการขับเคลื่อนเจาะตัด (automatic trigger) เป็นหลัก เพียงแต่แพทย์กดบังคับ เขี่ยยบแป้นบังคับด้วยเท้าจนสุดแล้วกดไกบังคับ เครื่องก็ทำงานให้เสร็จตามต้องการ เครื่องเจาะได้ด้วยความสามารถของปลายเข็มเจาะ แรงสปริงและมอเตอร์ไฟฟ้า มิใช่ใช้มือดันเครื่องหรือเข็มเจาะและส่วนหมุนเจาะจะมีท่อนเข็มหุ้มโดยตลอดเพื่อป้องกันอันตรายต่อเนื้อเยื่อข้างเคียงภายในตาขณะเข็มเจาะหมุน

สามารถเปลี่ยนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเข็มเจาะได้หลายขนาด หรือเปลี่ยนเฉพาะเข็มเจาะซึ่งหมดความคม มีระบบดูดหรือฉีดสารละลายหรือสารขุ่นชนิด 2 ระบบ ซึ่งแยกเป็นอิสระต่อกันแต่ช่วยทำงานด้วยกัน ทั้งขณะที่เข็มเจาะหยุดนิ่งหรือกำลังหมุนโดยอาศัยระบบเข็มกลาง ห้องแยก และแผ่นกันเพื่อคงสภาพความลึกของช่องหน้าลูกตาได้ดีโดยไม่ต้องมีเข็มอื่นช่วย ซึ่งจะลดอันตรายต่อกระจกตาและเนื้อเยื่อภายในลูกตา และช่วยในการตัดชิ้นเนื้อได้ดี และสามารถควบคุมการดูดหรือผลักชิ้นเนื้อที่ตัดแล้ว ได้ตามประสงค์ของแพทย์

2. อภิปรายผลการศึกษาของประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการผ่าตัดแบบ standard full-thickness filtering glaucoma surgery มักมี complication จาก excessive aqueous filtration ทำให้เกิด prolong flat A.C. มีผลให้เกิด corneal decompensate, synechiae, cataract และ bleb มักจะบางมาก แตกได้ง่าย เกิด endophthalmitis ตามมา ซึ่งแก้ไขโดยการผ่าตัดแบบ trabeculectomy โดยมี partial-thickness scleral flap มาปิด fistula ซึ่งแนะนำโดย Sugar<sup>1</sup> ในปี 1961 และเป็นที่ยอมรับหลัง 1968 แนะนำโดย Cairns<sup>2</sup> และ filtering bleb เป็นองค์ประกอบหลักในการพิจารณาความสำเร็จในการผ่าตัดจากการศึกษาของ Cairns<sup>3</sup> ในปี 1971 และการศึกษาของ Linner ในปี 1992<sup>4</sup> โดยวิธี fluorescein-stained aqueous ใน filtering area แสดงว่า external filtration เป็นหลักในการลด IOP ซึ่งระบายออกทาง scleral flap scar : Shield 1997<sup>5</sup> ส่วนใหญ่ทางบริเวณขอบของ scleral flap : Shield 1980<sup>6</sup> และ David R, Sachs 1981<sup>7</sup> แนะนำว่า scleral flap ที่บางกว่าจะมี filtration ที่ดีกว่า และลด IOP ได้มากกว่า Grehn 1989<sup>8</sup> และ Brincker 1992<sup>9</sup> รายงานว่าการผ่าตัด limbal-based และ fornix-based ให้ผลไม่ต่างกัน

Tenon capsule; Kapetansky 1980<sup>10</sup> และ Miller, Shield, 1991<sup>11</sup> ศึกษาพบว่า การผ่าตัด trabeculectomy การผ่าตัด Tenon capsule บางส่วนหรือไม่ตัดเลย ผลการผ่าตัดไม่แตกต่างกันในการควบคุม IOP ดังนั้น ปัจจุบันการเลาะ tenon capsule ออกจาก episclera โดยไม่ตัดจึงนิยมในรายที่ผ่าตัดใช้ adjunctive antifibrosis เพื่อหลีกเลี่ยง excessive thin หรือ leaking filtering blebs ใน late postoperative course

การฉีด viscoelastic agent เข้าใน Anterior chamber (A.C.) ไม่ได้ช่วยในการลด incidence ของ postoperative flat A.C.<sup>12,13</sup> Wand 1988<sup>14</sup> Wand 1994<sup>15</sup> รายงานการฉีด viscoelastic agent ผ่าน paracentesis เข้าใน A.C. ในระยะเริ่มแรกจะทำให้ flat A.C. ลดลง โดยตั้งสมมุติฐานว่าการลด Intraoperative hypotony และ subsequent suprachoroidal effusion ตั้งแต่แรกจะเป็นการป้องกัน flat A.C. และวัตถุประสงค์อื่นๆ เช่น ลด intraoperative bleeding<sup>16</sup> postoperative corneal endothelial cell loss<sup>17</sup>, Barak 1992<sup>17</sup> การคง viscoelastic agent ใน A.C. จะช่วยเพิ่ม IOP ให้สูงขึ้นหลังผ่าตัด trabeculectomy ในระยะแรก Maumenee 1960<sup>18</sup> อธิบายกลไกของ function and failure filtering bleb ในการผ่าตัดแบบ ab externo ว่าเกิดจาก scarring ของ filtering bleb อันเนื่องมาจาก fibroblast proliferative

การใช้ mitomycin-c (MCC) mitomycin-c เป็น antineoplastic agent, Chain 1983<sup>19</sup> รายงานการใช้ mitomycin-c ในการผ่าตัด trabeculectomy, Jampel 1992<sup>20</sup> แสดงว่า MCC ช่วย complete inhibit fibroblast proliferation in culture human Tenon's capsule fibroblast

ในขณะที่ Jampel 1990<sup>21</sup> รายงานใน Cell culture ว่า high ascorbic acid ใน aqueous humor โดยธรรมชาติ เป็น cytotoxic ต่อการแบ่งตัวของ human Tenon's capsule fibroblast ซึ่งอาจมีผลต่อความสำเร็จในการ form filtering bleb และ Jampel 1990<sup>22</sup> รายงานว่า transforming growth factor- $\beta$  ซึ่งเป็น potent modulator ของ tissue repair ก็พบได้ใน aqueous humor และมีผลต่อ healing process ของ filtering bleb และ Tripathi 1990<sup>23</sup> รายงานว่ามี growth factor ใน aqueous humor ที่จะ maintain normal function ของ ocular tissues ในภาวะปกติ และในภาวะผิดปกติตลอดจน wound healing ในการกลับกัน aqueous humor ก็อาจ promote wound healing fibroblast<sup>24,25,26,27</sup> ทำให้เกิด bleb failure

MCC อาจทำให้เกิด hypotony maculopathy จาก IOP ลดลงมาก นานๆ ทำให้เกิด disc edema, vascular tortuosity และ chorioretinal fold ใน macular area ทำให้ตามัวลงมาก<sup>28</sup> toxic ต่อ corneal endothelial<sup>29</sup> และอาจมี scleral perforate ได้ใน late phase มากกว่า 10 ปี การผ่าตัดโดย trephine ตามวิธีของ Elliot 1909<sup>30</sup> และ Forgas<sup>31</sup> และ Sugar 1961<sup>32</sup>, Sugar 1971<sup>33</sup> limbo-scleral trephination รายงานว่าได้ผลดีในประสบการณ์ 11 ปี

ab externo โดยเปิด limbal-base กว้าง 5x5 มิลลิเมตร หรือมากกว่าตัด Tenon เพื่อ surgical approach ที่ดี (อันจะรวม conjunctiva และ Tenon มาก) แล้วใช้ Trephine block ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5-2.0 มิลลิเมตร และเฉียงเจาะในแนวเกือบตั้ง ให้ขอบด้านหน้าเจาะเข้า A.C. ก่อน โดยสังเกตจากการขยับเคลื่อนของ upper pupillary margin ตามการขยับของ trephine ซึ่งมี trauma ต่อตามาก แล้วดึง trephine button มีขอบส่วนใกล้ sclera ยังไม่ขาดออก ต้องใช้กรรไกรตัด ซึ่งน่าจะมี trauma มาก ab interno; Brown 1987<sup>34</sup> Brown 1988<sup>35</sup> รายงานการผ่าตัด internal sclerostomy ด้วย automatic trephine ในตามนุษย์ 7 ตา รายงานว่าได้ผลดี

## ■ สรุปผล

การผ่าตัดแบบ full-thickness trephine แบบ ab externo โดยเครื่องมือผ่าตัดดัดหินแบบเข็มอัตโนมัติตามสิทธิบัตรสิ่งประดิษฐ์ไทยเลขที่ 6556<sup>36</sup> จะเปิด conjunctival flap แบบ fornix-base<sup>8,9</sup> รว 3 มิลลิเมตร ลึกลงไปทาง posterior

ราว 2 มิลลิเมตร และไม่ตัด Tenon เลย<sup>10,11</sup> เพื่อลด trauma ต่อ Conjunctiva และ Tenon ทำให้มี scaring ที่ bleb ลดลง เพื่อให้มี success filtering bleb เท่ากันหรือมากกว่า<sup>18</sup> และทำให้ filtering bleb มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับแบบ trabeculectomy<sup>1,2,3</sup> มีการ drain ที่ดีกว่าโดยไม่ต้องผ่าน scleral flap<sup>3,4,5,6,7,10,11</sup> จึงทำให้มี filtering bleb ที่ effective กว่า มีการฉีด viscoelastic (Amvisc plus) form A.C. ก่อนผ่าตัดและคงไว้ใน A.C. ไม่ดูดออกหลังผ่าตัด ทำให้ลด trauma และ IOP หลังผ่าตัดไม่ลดลงมากเกินไป อันจะทำให้ลดการเกิด flat A.C. ได้<sup>12,13,14,15,16,17</sup> จะเจาะ limbo - scleral ในแนวตั้งฉากกับขอบกระจกตาซึ่งโค้งเกือบ 45 องศา จะได้แผลขนาดเล็กเพราะเข็มเจาะเล็กและส่วนหุ้มมีขนาดเล็กราว 1 มิลลิเมตร การฉีด viscoelastic ผ่าน paracentesis ก่อนหน้านั้น<sup>14,15</sup> ทำให้ A.C. ลึกลง ขอบม่านตาให้พื้นคมของเข็มเจาะ เมื่อเข็มเจาะ เจาะทะลุ limbo - scleral แล้ว trephine button ขนาด 0.8 มิลลิเมตร จะมีขอบเรียบ clean cut; trauma น้อย เพราะตัดด้วยความเร็วสูงมากกว่า 3,000 รอบต่อวินาที และเข็มคมมาก ทำให้เวลาในการเจาะสั้นมาก และเมื่อเจาะถึงความลึกตามที่ตั้งไว้ล่วงหน้า เข็มเจาะจะหยุดโดยอัตโนมัติทันที ทำให้ไม่แตะถูกม่านตา ไม่มี trauma ต่อม่านตาเลย หากมีม่านตามาจุกในภายหลังก็ตัด iridectomy ด้วยกรรไกรได้ หรือยิง laser iridotomy ไว้ก่อนผ่าตัดก็ได้ เพื่อลด trauma ต่อ iris อันจะ induce aqueous humor activate fibroblast proliferation หลังผ่าตัด

การผ่าตัด ab interno จะไม่รบกวนเยื่อぶตา เพื่อลด scar formation อันจะทำให้เกิด blebfailure การใช้ MCC

ใน trabeculectomy<sup>19,20</sup> อาจมีผลเสีย<sup>29</sup> แต่การผ่าตัดโดยให้ drain aqueous humor ผ่าน sclerostomy ที่มีขนาดเหมาะสม (0.8 มิลลิเมตร) ในเครื่องผ่าตัดต้อหินแบบเข็มอัตโนมัติตามลึทธิบัตรนี้<sup>36</sup> ทำให้ลดเรื่อง over drain จากรูขนาดใหญ่ 1.5-2.0 มิลลิเมตร ตามวิธีเดิม<sup>32,33</sup> ลดเรื่อง flat A.C. การที่เครื่องมืออัตโนมัติตั้งความลึกในการเจาะได้ล่วงหน้าและหยุดได้โดยอัตโนมัติจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแพทย์ในการผ่าตัดได้ดีกว่าแบบเดิม<sup>34,35</sup> และการประเมินวิจัยหากเจาะ limbo - scleral มีขนาดไม่เหมาะสมอาจเปลี่ยนขนาดเข็มเจาะได้ง่ายโดยเพิ่มหรือลดก็ได้ซึ่งเครื่องแบบเดิมทำไม่ได้<sup>34,35</sup> และการมี trauma น้อยจากเข็มเจาะที่คมมากและหมุนด้วยความเร็วสูงใช้เวลาในการผ่าตัดสั้นกว่ามากทั้งนี้โดยตั้งสมมุติฐานว่า aqueous humor ที่ไม่ได้มี trauma ในการผ่าตัดมาก น่าจะมีคุณสมบัติ<sup>21,22,23</sup> มากกว่าโทษ<sup>24,25,26,27</sup> ในการทำให้เกิด successful filtering bleb

## ■ นวัตกรรมและการนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้

การผ่าตัด full-thickness trephine filtering surgery ด้วยเครื่องมือผ่าตัดต้อหินแบบเข็มอัตโนมัติในตาหมูเสียชีวิต 10 ตา และตากระต่ายมีชีวิต 1 ตา ทั้งแบบ external approach (ab externo) และแบบ internal approach (ab interno) ได้ผลปลอดภัยดี และต้องการทำการวิจัยต่อไปในตากระต่ายมีชีวิตให้ได้ผลในระยะยาวก่อนจะทำการวิจัยในตามนุษย์

## เอกสารอ้างอิง

1. Sugar, HS: Experimental trabeculectomy in glaucoma. Am J Ophthalmol 1967;51:623.
2. Cairns, JE: Trabeculectomy. Preliminary report of a new method. Am J Ophthalmol 1968;5:673.
3. Cairns, JE: Trabeculectomy. Trans Am Acad Ophthalmol Otol 1971;75:1395, 1971.
4. Linner, E: Aqueous outflow routes following trabeculectomy. New Trends Ophthalmol 1992;7:173.
5. Shields, MB, Bradbury, MJ, Shelburne, JD, Bell, SW: The permeability of the outer layers of limbus and anterior sclera, Invest Ophthalmol Vis Sci 1977;16:866.
6. Shields, MB: Trabeculectomy vs. full-thickness filtering operation for control of glaucoma. Ophthalmic Surg 1980;11:498.
7. David, R, Sachs, U: Quantitative trabeculectomy. Br J Ophthalmol 1981;65:457.
8. Grehn, F, Mauthe, S, Pfeiffer, N: Limbus-based versus fornix-based conjunctival flap in Filtering surgery. A randomized prospective study. Int Ophthalmol 1989;13:139.
9. Brincker, P, Kessing, SV: Limbus-based versus fornix-based conjunctival flap in glaucoma filtering surgery. Acta ophthalmol 1992;70:641.



10. Kapetansky, Fm: Trabeculectomy, or trabeculectomy plus tenonectomy: a comparative study. *Glaucoma* 1980;2:451.
11. Miller, KN, Blasini, M, Shields, MB, Ho, CH: A comparison of total and partial tenonectomy with trabeculectomy. *Am J Ophthalmol* 111:323, 1991.
12. Hung, SO: Role of sodium hyaluronate (Healonid) in triangular flap trabeculectomy. *Br J Ophthalmol* 69:46, 1985.
13. Teekhasaene, C, Ritch, R: The use of PhEA 34c in trabeculectomy. *Ophthalmology* 93:487, 1986.
14. Wand, M: Viscoelastic agent and the prevention of post-filtration flat anterior chamber. *Ophthalmic Surg* 19:523, 1988.
15. Wand, M: Intraoperative intracameral viscoelastic agent in the prevention of postfiltration flat anterior chamber. *J Glau* 3:101, 1994.
16. Raitta, C Vesti, E: The effect of sodium hyaluronate on the outcome of trabeculectomy. *Ophthalmic Surg* 22:145, 1991.
17. Barak, A, Alhalel, A, Kotas, R, Malamed, S: The protective effect of early intraoperative injection of viscoelastic material in trabeculectomy. *Ophthalmic Surg* 23:206, 1992.
18. Maumenee, AE: External filtering operations for glaucoma: The mechanism of function and failure. *Trans Am Ophthalmol Soc* 58:319, 1960.
19. Chen, CW: Enhanced intraocular pressure controlling effectiveness of trabeculectomy by local application of mitomycin c. *Trans Asia-Pac Aced Ophthalmol* 9:172, 1983.
20. Jampel, HD: Effect of brief exposure to mitomycin c on viability and proliferation of cultured human tenon's capsule fibroblasts. *Ophthalmology* 99:1471,1992.
21. Jampel, HD: Ascorbic acid is cytotoxic to dividing human Tenon's capsule fibroblasts. A possible contributing factor in glaucoma filtration surgery success. *Arch Ophthalmol* 108:1323, 1990.
22. Jampel, HD, Roche, N, Stark, WJ, Roberts, AB: Transforming growth factor- $\beta$  in human aqueous humor. *Curr Eye Res* 9:963, 1990.
23. Tripathi, RC, Borissuth, NSC, Tripathi, BJ: Growth factors in the aqueous humor and their therapeutic implications in glaucoma and anterior segment disorders of the human eye. *Drug Dev Res* 22:1,1991.
24. Radius, RL, Herschler, J, Ciafin, A, Fiorention, G: Aqueous humor change after experimental filtering surgery. *Am J Ophthalmol* 89:250, 1980.
25. Albrink, WS, Wallace, AC: Aqueous humor as a tissue culture nutrient. *Proc Soc Exp Med* 77:754, 1951.
26. Ledbetter, SR, Hatchell, DL (Van Horn), O, Brien, WJ: Secondary aqueous humor stimulates the proliferation of cultured bovine corneal endothelial cells. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 24:557, 1983.
27. Joseph, JP, Grierson, U, Hitchings, RA: Chemotactic activity of aqueous humor. A cause of failure of trabeculectomies? *Arch Ophthalmol* 107:69, 1989.
28. Costa, VP, Wilson, RP, Moster, MR, et al: Hypotony maculopathy following the use of topical mitomycin c in glaucoma filtration surgery. *Ophthalmic Surg* 24:289,1994.
29. Morrow, GL, II, Stein, RM, Heathcote, JG, et al: Ocular toxicity of mitomycin c and 5-fluorouracil in the rabbit. *Can J Ophthalmol* 29:268, 1994.
30. Elliot, RH: A preliminary note on a new operative procedure for the establishment of a filtering cicatrix in the treatment of glaucoma. *Ophthalmoscope* 7:804,1909.
31. Fergus, F: Treatment of glaucoma by trephining. *Br Med J* 2:983, 1909.

32. Sugar, HS: Limboscleral trephination. Am J Ophthalmol 52:29, 1961.
33. Sugar, HS: Limboscleral trephination. Eleven years' experience. Arch Ophthalmol 85:703, 1971.
34. Brown, RH, Denham, DB, Bruner, WE, et al: Internal sclerectomy for glaucoma filtering surgery with an automated trephine. Arch Ophthalmol 105:133, 1987.
35. Brown, RH, Lynch, MG, Denham, DB, et al: Internal sclerectomy with an automated trephine for advanced glaucoma. Ophthalmology 95:728, 1988.
36. แพทย์คุณ, ชัยพร : เครื่องมือผ่าตัดต้อหินแบบเข็มอัตโนมัติหมุนขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าบังคับด้วยกลไกและอิเล็กทรอนิกส์. สิทธิบัตรการประดิษฐ์ไทย เลขที่ 6556, 2531.

