

## บทนำ

ระบบขับถ่ายปัสสาวะ ประกอบด้วยอวัยวะสำคัญคือ ไต (kidney) ท่อไต (ureters) กระเพาะปัสสาวะ (urinary bladder) และท่อปัสสาวะ (urethra)

### หน้าที่ของไต (Fawcett, 1994)

1. กำจัดของเสียจากขบวนการเมตาบอลิซึมออกจากร่างกายโดยผ่านทางท่อไต กระเพาะปัสสาวะ และท่อปัสสาวะ ตามลำดับ
2. ควบคุมและรักษาสมดุลของน้ำ และความเป็นกรด-ด่างของร่างกาย
3. สร้างและหลั่งฮอร์โมน 2 ชนิด คือ Erythropoietin ซึ่งมีบทบาทในการสร้างเม็ดเลือดแดง และ Renin ซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมความดันเลือด

### ลักษณะและโครงสร้างของไต ( General Structure of Kidney )

โตมนุษย์มี 1 คู่ แต่ละข้างมีรูปร่างคล้ายถั่ว ยาว 10-12 เซนติเมตร กว้าง 5 เซนติเมตร หนา 4-5 เซนติเมตร วางตัวอยู่หลังต่อ peritoneum บริเวณด้านหลังของช่องท้อง และอยู่สองข้างต่อกระดูกสันหลังส่วนเอวด้านบน ไตแต่ละข้างมีเยื่อหุ้มเป็น fibroconnective tissue ซึ่งบางและลอกออกได้ง่าย (Leeson et al., 1988) ขอบไตด้านใน (medial) มีลักษณะโค้งเว้า และมีขั้วไต (hilum) อยู่ตรงกลาง เป็นทางผ่านเข้า-ออกของเส้นเลือด เส้นประสาท และท่อไต โดยขั้วไตนี้ติดต่อกับช่องภายในไต เรียกว่า renal sinus ภายใน sinus นี้มีส่วนต้นของท่อไตขยายออกเรียกว่า renal pelvis ต่อมาแยกออกเป็น 3-4 major calyces และ 7-14 minor calyces ตามลำดับ (Greep and Weiss, 1973)

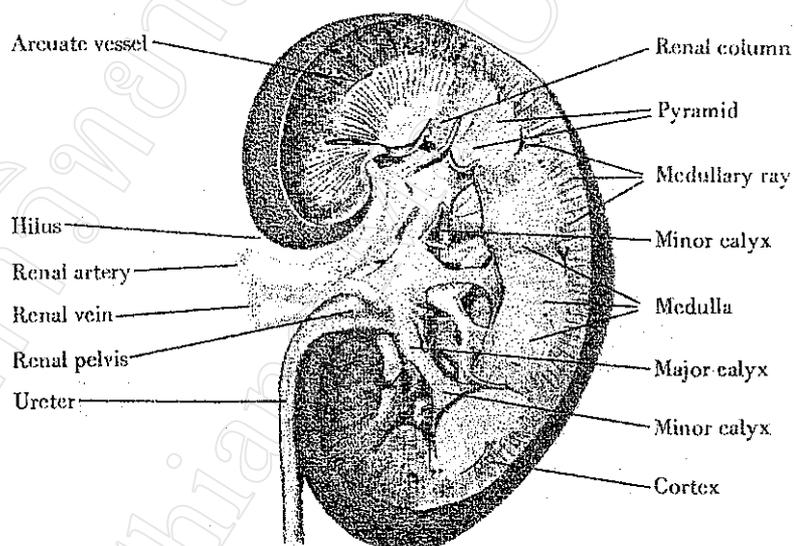
เมื่อผ่าไตออกเป็น 2 ส่วนขนานกับผิวไต (coronal section) และดูด้วยตาเปล่าสามารถแยกเนื้อไตออกเป็น 2 ส่วน (รูปที่ 1) คือ

- ส่วนนอก เรียกว่า cortex มีเนื้อสีน้ำตาลแดงเข้ม
- ส่วนใน เรียกว่า medulla มีสีน้ำตาลอ่อนกว่า

เนื้อไตส่วน cortex จะมีส่วนที่ยื่นไปแทรกระหว่างเนื้อไตส่วน medulla จนถึง renal sinus เรียกว่า renal columns

เนื้อไตส่วน medulla ประกอบด้วย renal pyramid ประมาณ 6-10 อัน (Fawcett, 1994) มีรูปร่างเป็น cone shape แต่ละ pyramid จะแยกจากกันด้วย renal column ซึ่งฐานของ

pyramid อยู่ติดกับ cortex และส่วนยอดของ pyramid เรียกว่า renal papilla ยื่นเข้าไปใน minor calyx ปลายของ papilla มีลักษณะเป็นรูพรุนเล็กๆ เรียกบริเวณนี้ว่า area cribrosa ซึ่งเป็นทางเปิดออกของ collecting duct บริเวณส่วนฐานของ pyramid มีลักษณะเป็นลายตามแนวยาวขนานกันเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีกลุ่มของ straight tubules ยื่นออกจาก cortex เรียกว่า medullary rays จัดเป็นเนื้อส่วนหนึ่งของ cortex (Greep, 1966) ส่วนเนื้อ cortex ที่อยู่ระหว่าง medullary rays เรียกว่า cortical labyrinth ประกอบด้วย glomeruli และ convoluted tubules (Kelly et al., 1984)



รูป 1 แสดงลักษณะของไตมนุษย์ เมื่อผ่าออกเป็น 2 ส่วนขนานกับผิวไต (Ross et al., 1995)

เนื้อไตส่วน medulla นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ medulla ส่วนนอก และ medulla ส่วนใน เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา (light microscope) พบว่า medulla ส่วนนอกอยู่ติดกับเนื้อไตส่วน cortex และมีความหนาแน่นของท่อมาก (Fawcett, 1994) และสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ outer stripe และ inner stripe ซึ่งส่วน outer stripe ประกอบด้วย straight portion of proximal tubule distal tubule และ collecting duct ในส่วน inner stripe ประกอบด้วย thin segment distal tubule และ collecting duct เนื้อไตบริเวณ medulla ส่วนในซึ่งรวมถึง papilla ด้วยนั้นมีความหนาแน่นของท่อน้อยกว่าบริเวณ medulla ส่วนนอก (Greep and Weiss, 1973) ซึ่งประกอบด้วย thin segment และ collecting duct

Renal lobule ประกอบด้วย renal pyramid และ renal column ที่อยู่ระหว่าง renal pyramid ในสัตว์บางชนิด เช่น กระต่าย หนู มีไตเป็น unilobar kidney ส่วนในมนุษย์นั้นมีไตเป็น multilobar kidney โดยมีประมาณ 6-18 lobe (Greep and Weiss, 1973) แต่ในขณะที่ยังเป็นตัวอ่อนอยู่นั้นจะเห็นร่องบนผิวไต ทำให้แยกไตออกเป็น lobe ได้ชัดเจน แต่จะมีการเชื่อมของร่องติดกันอย่างสมบูรณ์หลังคลอด

### ลักษณะและโครงสร้างของท่อที่สร้างน้ำปัสสาวะ ( Structure of Uriniferous Tubules )

ภายในเนื้อไตแต่ละข้างประกอบด้วยท่อที่สร้างน้ำปัสสาวะ (uriniferous tubules) มากมาย มากกว่าหนึ่งล้านท่อ (Geneser, 1986) ซึ่งถือเป็นหน่วยการทำงานของไต ท่อต่างๆ เหล่านี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ nephron และ collecting ducts ซึ่งแต่ละส่วนนี้แบ่งตามการเจริญในระยะ embryo โดย nephron เจริญมาจาก metanephric tissue ส่วน collecting duct เจริญมาจาก ureteric bud

### หน่วยไต ( Nephron )

เป็นท่อยาว ทำหน้าที่รวบรวมเลือดที่กรองแล้ว และขับ nitrogenous waste ออกจากร่างกาย และดูดกลับสารที่จำเป็นต่อร่างกาย แบ่งออกเป็น

#### 1. Renal corpuscle

เป็นส่วนต้นของ nephron อยู่ในเนื้อไตส่วน cortex มีลักษณะเป็นรูปไข่ (oval shape) ขนาดประมาณ 150-250 ไมโครเมตร ทำหน้าที่กรองเลือดที่ผ่านเข้ามา ประกอบด้วยกลุ่มของเส้นเลือดฝอยที่เรียกว่า glomerulus ซึ่งถูกห่อหุ้มด้วย Bowman 's capsule

## 2. Proximal tubules

เป็นท่อที่ติดต่อมาจาก renal corpuscle ประกอบด้วยท่อ 2 ส่วน คือ

2.1 Proximal convoluted portion เป็นท่อที่ขดไปมามาก อยู่ในส่วน cortex

2.2 Straight portion of proximal tubules เป็นท่อยาวที่ต่อมาจาก proximal convoluted portion อยู่ในส่วน medullary ray และสิ้นสุดบริเวณ outer stripe ของ medulla ส่วนนอก และติดต่อกับ thin segment of Henle's loop (รูปที่ 2) ลักษณะของเซลล์บุท่อทั้งสองส่วนเป็น cuboidal cell เพียงแถวเดียว นิวเคลียสกลมใหญ่อยู่กลางเซลล์ มี granule ภายในไซโตพลาสซึมซึ่งย้อมติดสี eosin ขอบเขตของแต่ละเซลล์ไม่ชัดเจน มี blush border เจริญดีและแสดงผลบวกต่อ Periodic Acid – Schiff reagent (PAS) มี mitochondria มาก

## 3. Thin segment of Henle's loop

เป็นท่อที่ติดต่อมาจาก straight portion ของ proximal tubules และเป็นส่วนหนึ่งของ loop of Henle โดย loop of Henle ประกอบด้วย 3 ส่วน (รูปที่ 2) คือ

3.1 Straight portion of proximal tubules

3.2 Thin segment

3.3 Straight portion of distal tubules (thick ascending limb of Henle's loop)

Thin segment เป็นท่อที่มีขนาดเล็ก กว้างประมาณ 15 ไมโครเมตร (Geneser, 1986) บุด้วย squamous epithelium ซึ่งสูงประมาณ 1-2 ไมโครเมตรเท่านั้น (Greep and Weiss, 1973) นิวเคลียสยื่นเข้าไปใน lumen พบท่อส่วนนี้ได้ใน บริเวณ medulla

Thin segment มีบทบาทสำคัญในการทำให้ urine มีความเข้มข้นขึ้น

## 4. Distal tubule

เป็นท่อที่ติดต่อมาจาก thin segment of Henle loop ประกอบด้วยท่อ 3 ส่วน คือ

4.1 Straight portion of distal tubule หรือ thick ascending limb of Henle's loop ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ loop of Henle ท่อส่วนนี้เริ่มต้นใกล้กับรอยต่อของ medulla ส่วนนอกกับ medulla ส่วนใน (รูปที่ 2) โดยเซลล์บุท่อเป็น cuboidal cell

ไม่มี brush border ขนาดของ lumen ในส่วนนี้กว้างกว่า proximal tubules มี นิวเคลียสอยู่ชิดกัน และมี mitochondria มากที่บริเวณฐานของเซลล์

4.2 Macula densa เป็นส่วนหนึ่งของ distal tubule ที่สัมผัสกับ juxtaglomerular cell และมีการดัดแปลงเซลล์ไปเป็น cuboidal cell ที่สูงขึ้น

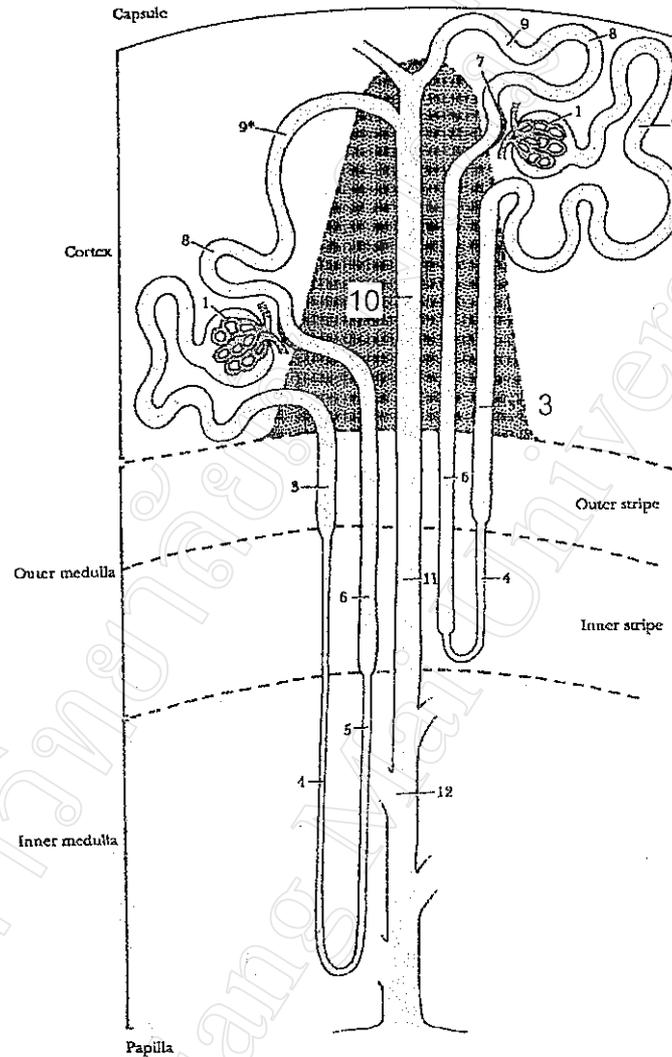
4.3 Distal convoluted tubule เป็นท่อที่ติดต่อมาจาก macula densa และ ไปสิ้นสุดโดยเชื่อมกับ collecting tubule ท่อส่วนนี้เป็นท่อสั้นๆ อยู่ในส่วน cortex เซลล์บุท่อมีลักษณะเหมือนกับเซลล์บุท่อของ straight portion of distal tubule

## 5. Collecting duct

เป็นท่อที่ต่อเนื่องมาจาก distal convoluted tubule ในบริเวณ cortex ใกล้กับ medullary rays ความยาวของท่อประมาณ 20 มิลลิเมตร มีบทบาทในการทำให้ urine มีความเข้มข้นขึ้น ท่อส่วนเริ่มต้นของ collecting duct เป็นท่อสั้นๆ เรียกว่า connecting tubule หรือ arched collecting tubule ต่อมาเป็นท่อตรงเรียกว่า straight collecting tubules ท่อส่วนนี้ผ่านอยู่ใน medullary rays และ medulla ส่วนนอก หลังจากนั้น straight collecting tubule จะไปเชื่อมกับ collecting tubules อื่นๆ กลายเป็นท่อขนาดใหญ่ เรียกว่า papillary duct หรือ ducts of Bellini มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 200 ไมโครเมตร ผ่านไปยัง medulla ส่วนใน และไปเปิดยัง area cribrosa ที่บริเวณ apex of papilla ขนาดของท่อจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 40 ไมโครเมตร ในส่วน cortex จนถึง 200 ไมโครเมตร ในส่วน papilla ขณะเดียวกัน ความสูงของเซลล์บุท่อจะสูงขึ้นจาก cuboidal cell ใน cortex เป็น columnar cell ใน papillary duct

ภายในเนื้อไตสามารถแบ่ง collecting ducts ออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. Cortical Collecting Duct (CCD) อยู่ในส่วน medullary rays ของ cortex
2. Outer Medullary Collecting Duct (OMCD) อยู่ใน medulla ส่วนนอก
3. Inner Medullary Collecting Duct (IMCD) อยู่ใน medulla ส่วนใน



รูป 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างท่อไตแต่ละส่วนในเนื้อไตส่วนต่างๆ (Ross et al.,1995)  
พื้นที่แรเงา เป็นส่วนของ medullary ray

1= Renal corpuscle

9= Connecting tubule

2= Proximal convoluted tubule

9\*=Arched collecting tubule

3= Proximal straight tubule

10=Cortical collecting duct

4,5= Thin segment

11= Outer medullary collecting duct

6= Distal straight tubule (Thick ascending limb)

7= Macula densa

12= Inner medullary collecting duct

8= Distal convoluted tubule

Epithelium ที่พบภายใน collecting duct เป็นเซลล์แถวเดียว ประกอบด้วยเซลล์บุ 2 ชนิด คือ Principal cell (PC) หรือ light cell หรือ clear cell และ Intercalated cell (IC) หรือ dark cell

Principal หรือ light cell เป็นเซลล์ที่พบมากที่สุด และกระจายอยู่ทั่วไปในบริเวณ cortex และ medulla ไซโตพลาสซึมของเซลล์ติดสีจาง เซลล์มีรูปร่างหลายเหลี่ยม (polygonal shape) นิวเคลียสอยู่กลางเซลล์ (Myers et al., 1966) ในระดับที่ดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าบริเวณผิวส่วนบนของเซลล์เรียบ มี mitochondria เล็กน้อยกระจายอยู่ทั่วไปภายในไซโตพลาสซึม และมี cillium หนึ่งถึงสองอันอยู่บริเวณกลางเซลล์ มี microvilli สั้นๆ เล็กน้อย

Intercalated หรือ dark cell มีรูปร่างคล้ายดาว (starlike shape) ไซโตพลาสซึมติดสีเข้ม นิวเคลียสอยู่กลางเซลล์ มี process ยื่นไปแทรกระหว่าง light cell ที่อยู่ข้างเคียง (Myers et al., 1966) ในระดับที่ดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าบริเวณผิวส่วนบนของเซลล์มี microplcae หรือ fold อยู่จำนวนมาก มี mitochondria มากและมักอยู่เหนือต่อนิวเคลียส มี secretory vesicle ขนาดเล็กจำนวนมากอยู่บริเวณส่วนยอดของเซลล์ (Andrews, 1975; Ordonez et al., 1976) นอกจากนี้ยังสามารถแบ่ง dark cell ออกเป็น 2 ชนิด (Clapp and Croker, 1997) คือ

- ชนิด A มี microprojections ที่บริเวณส่วนยอดของเซลล์จำนวนมาก และมี tubulovesicular structure ที่บริเวณส่วนยอดของไซโตพลาสซึมมาก บริเวณ luminal surface ของเซลล์ยื่นเข้าไปใน lumen อย่างชัดเจน
- ชนิด B มี mitochondria มาก ไซโตพลาสซึมติดสีเข้ม แต่มี microprojections ที่บริเวณส่วนยอดของเซลล์จำนวนเล็กน้อย มี spherical vesicular structure จำนวนมากและพบได้ทั่วไปภายในไซโตพลาสซึม (Clapp, 1992)

การกระจายตัวและจำนวนของเซลล์ทั้งสองประเภทนี้แตกต่างกันไปในแต่ละส่วนของ collecting duct มีรายงานว่าภายใน collecting duct พบ principal cell ได้ตลอดช่วงของ cortex และ medulla และมีจำนวนมากกว่า intercalated cell (Leeson et al., 1988) โดย intercalated cell พบได้มากที่บริเวณ cortex และ medulla ส่วนนอก (Sato and Spicer, 1982) ซึ่ง intercalated cell จะมีการกระจายตัวและจำนวนแตกต่างกันในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมแต่ละชนิด เช่น

Hansen et al. (1980) ได้ศึกษา collecting duct ของไตหนูเพศเมียจำนวน 6 ตัว พบว่าจำนวนของ intercalated cell ทั้งภายใน cortical collecting ducts (CCD) และ outer stripe ของ outer medullary collecting duct (OSOMCD) ของไตหนู มีปริมาณเท่ากันประมาณ 38% ส่วนบริเวณ inner stripe (ISOMCD) มีประมาณ 36%

Lefurgey and Tisher (1979) ศึกษา collecting ducts ของไตกระต่าย จำนวน 12 ไต จากกระต่ายเพศเมีย 6 ตัว พบว่าในแต่ละส่วนของ collecting ducts มีจำนวนของ intercalated cell แตกต่างกัน โดยบริเวณ CCD มี intercalated cell ประมาณ 37% บริเวณ OMCD พบประมาณ 18% ส่วนในบริเวณ IMCD พบน้อยกว่า 1%

Clapp et al. (1987) ศึกษา intercalated cell ใน IMCD ของไตหนูเพศผู้ จำนวน 8 ตัว พบว่า ในบริเวณส่วนนอก 1/3 ของ IMCD มี intercalated cell ประมาณ 10% และในส่วนปลาย 2/3 ของ IMCD ไม่พบ intercalated cell เลย ส่วนการศึกษาของ Bulger et al. (1979) ซึ่งศึกษา collecting duct ของไตสุนัข จำนวน 5 ตัว พบ intercalated cell จำนวนมากในบริเวณ IMCD

Myers et al. (1966) ศึกษา collecting ducts ของโตมนุษย์เพศชาย อายุ 22 – 38 ปี จำนวน 10 คน พบ intercalated cell มากในบริเวณ cortex แต่พบได้น้อยใน medulla ส่วนนอก และไม่พบเลยใน medulla ส่วนใน

ส่วนการศึกษาของ Nouwen and De Broe (1994) ซึ่งศึกษา collecting ducts ของโตมนุษย์วัยผู้ใหญ่ จำนวน 11 ไต พบว่า intercalated cell บริเวณ CCD มีน้อยกว่า 10% ในบริเวณ outer stripe ของ medulla ส่วนนอก (OSOMCD) พบน้อยกว่า 10% และส่วน inner stripe ของ medulla ส่วนนอก (ISOMCD) พบ 50% บริเวณ medulla ส่วนใน (IMCD) พบประมาณ 50-75% ส่วนใน papillary collecting duct พบน้อยกว่า 5%

การศึกษา intercalated และ principal cell ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา (light microscope) ด้วยวิธีการย้อมทั่วไป (H&E) ทำได้ยาก จำเป็นต้องใช้เทคนิคพิเศษ เช่น semithin section จึงจะเห็นองค์ประกอบภายในเซลล์ชัดเจน และมีบางการศึกษาใช้การย้อมสีพิเศษโดยอาศัยความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีที่อยู่ภายในเซลล์ สามารถแยกแยะ intercalated cell ออกจาก principal cell ได้ง่าย เช่น

การศึกษาของ Giffith et al. (1968) ซึ่งศึกษา intercalated cell ภายใน collecting ducts ของไตหนูเพศเมีย ด้วยการย้อมสีพิเศษ พบว่าบริเวณส่วนยอดของเซลล์ แสดงผลบวก

ต่อ Alcian Blue–Periodic Acid Schiff (AB-PAS) และ Colloidal iron เนื่องจากมี acid mucosubstance อยู่ในส่วนของไซโตพลาสซึม เช่นเดียวกับงานของ Nicholson (1982) ซึ่งศึกษา collecting duct ของไตคน จำนวน 8 ตัว พบว่า intercalated cell แสดงผลบวกต่อ AB-PAS และ Colloidal iron เล็กน้อย เนื่องจากมีปริมาณ acid mucosubstance อยู่ น้อย

Nouwen and De Broe (1994) ศึกษาลักษณะของ intercalated cell โดยใช้เทคนิค Immunohistochemistry พบว่า intercalated cell ให้ผลบวกต่อ anti-EGF antibodies test (Ab-3) เซลล์มี process ยาวยื่นออกไปแทรก principal cell ที่อยู่ข้างเคียง มีรูปร่างคล้ายดาว หรือ dendrite ผู้ศึกษาจึงเรียกชื่อเซลล์นี้ใหม่ว่า "Octopal cell" ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Myers et al. (1966) เมื่อศึกษา intercalated cell ด้วยเทคนิค semithin section พบว่าเซลล์มีรูปร่างคล้ายดาว มี process ยื่นไปแทรกระหว่าง principal cell ที่อยู่ข้างเคียง

มีรายงานการศึกษา collecting ducts ของไตหนูและกระต่าย โดยใช้เทคนิคทาง Immunocytochemistry พบว่า intercalated cell ให้ผลบวกต่อ  $H^+$ -ATPase โดย intercalated cells ในส่วน cortical collecting ducts แสดงผลบวกบริเวณส่วนยอดของเซลล์หรือบริเวณ basolateral ของเซลล์ หรือกระจายอยู่ทั่วไปภายในเซลล์ ส่วน intercalated cells ใน medullary collecting duct แสดงผลบวกเฉพาะบริเวณส่วนยอดของเซลล์เท่านั้น (Bastani, 1997)

Collecting ducts มีหน้าที่สำคัญในการทำให้ปัสสาวะที่จะขับออกทาง ureter มีความเข้มข้นขึ้นหรือเจือจางลง โดยเซลล์บุท่อทั้งสองประเภทนี้ อยู่ภายใต้อิทธิพลของฮอร์โมน vasopressin ถ้าขาดฮอร์โมนนี้ collecting duct จะไม่ยอมให้น้ำผ่าน ทำให้น้ำถูกดูดกลับเข้าไปใน urine ที่ถูกขับออกจึงมีปริมาณมากแต่เจือจาง แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้ามีอิทธิพลของฮอร์โมนดังกล่าวนี้ เซลล์บุ collecting duct จะยอมให้น้ำผ่านไปได้ ทำให้ urine มีปริมาณน้อยแต่เข้มข้นขึ้น (Madsen and Tisher, 1986) หน้าที่ของเซลล์บุท่อทั้งสองประเภทนี้ยังไม่แน่ชัด เพียงแต่มีรายงานว่าจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการควบคุมสมดุลกรด-ด่างของร่างกาย โดย intercalated cell เกี่ยวข้องกับการขับไฮโดรเจนไอออนและไบคาร์บอเนต ดูดกลับโปตัสเซียม (Clapp, 1987; 1992; Madsen and Tisher, 1986) ส่วน principal cell เกี่ยวข้องกับการขับโปตัสเซียมและดูดกลับโซเดียม (Clapp, 1992)

Madsen and Tisher (1983) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเซลล์บุ medullary collecting duct ของไตหนูเพศเมีย จำนวน 5 ตัว หลังจากภาวะ respiratory acidosis 4-5 ชั่วโมง ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของ principal cell แต่พบว่า secretory vesicle ที่อยู่บริเวณส่วนยอดของไซโตพลาสซึมของ intercalated cell มีจำนวนลดลง และ plasma membrane บริเวณด้านบนของเซลล์มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อร่างกายอยู่ในภาวะ respiratory acidosis นั้น intercalated cell จะมีการขับไฮโดรเจนออกซิออนออกไปทาง secretory vesicle และ plasma membrane บริเวณด้านบน ตามลำดับ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Varlander et al. (1987)

Evan et al. (1980) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ collecting duct ของไตหนูเพศผู้ จำนวน 31 ตัว ที่สัมพันธ์กับ potassium disturbance โดยแบ่งหนูเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม 10 ตัว กลุ่มที่ 2 ได้รับโปตัสเซียมต่ำ 12 ตัว และกลุ่มที่ 3 ได้รับโปตัสเซียมสูง 9 ตัว โดยอาศัยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) พบว่าในภาวะโปตัสเซียมต่ำ จำนวนของ intercalated cell บริเวณ cortex เพิ่มขึ้น 7-30% บริเวณ medulla เพิ่มขึ้น 1-18% จำนวน principal cell ลดลงทั้งในบริเวณ cortex และ medulla แต่เมื่อระดับโปตัสเซียมสูง พบว่า intercalated cell บริเวณ cortex มีจำนวนลดลงเหลือน้อยกว่า 2% แต่ principal cell บริเวณ cortex มีจำนวนเพิ่มขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของ intercalated cell และ principal cell มีความสัมพันธ์กับการขนส่งโปตัสเซียม เมื่อมีการดูดกลับโปตัสเซียมเพิ่มขึ้น จำนวน intercalated cell จะเพิ่มขึ้น แต่จำนวน principal cell ลดลง ในทางกลับกันเมื่อมีการขับโปตัสเซียมเพิ่มขึ้น intercalated cell มีจำนวนลดลง แต่ principal cell มีจำนวนเพิ่มขึ้น

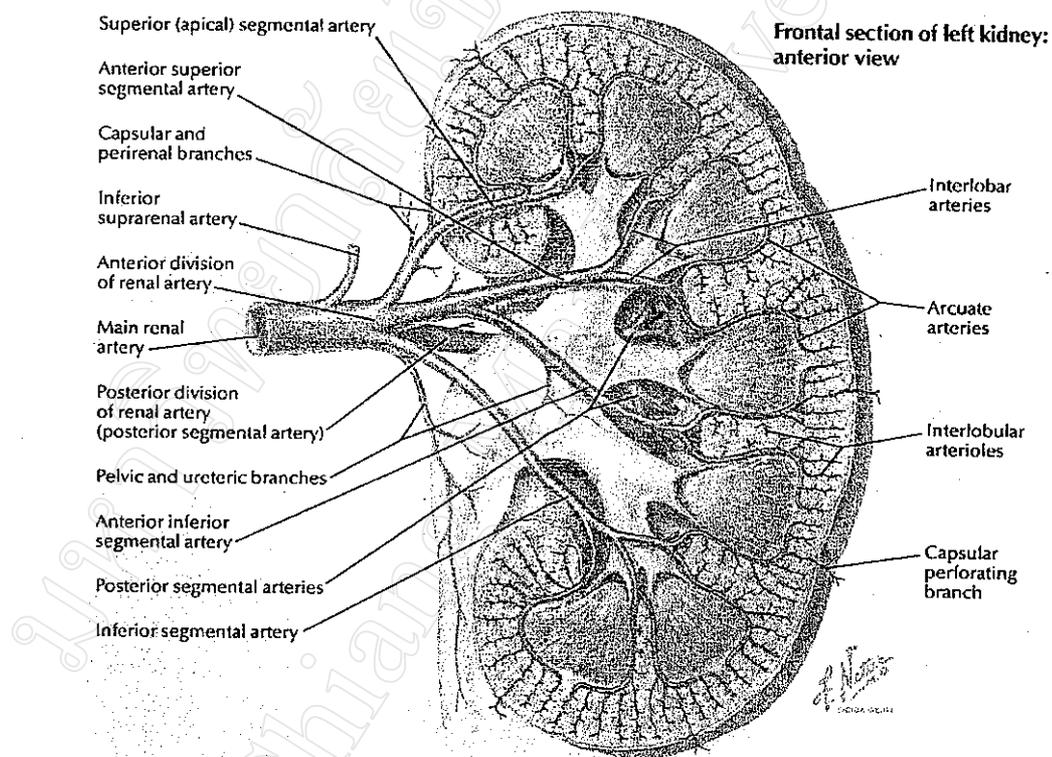
#### หลอดเลือด (Blood Supply)

ไตเป็นอวัยวะที่มีเลือดมาเลี้ยงมาก เฉลี่ยประมาณ 1,200 มิลลิลิตร/นาที โดยรับเลือดมาจากเส้นเลือด renal artery ซึ่งเป็นแขนงของ abdominal aorta โดย renal artery ผ่านเข้าไตทาง renal sinus และให้แขนงเป็น anterior และ posterior division แล้วแตกแขนงเป็น segmental artery 5 แขนง เข้าไปเลี้ยงไตแต่ละ segment ต่อมาให้แขนงเป็น interlobar artery ผ่านเข้าไปใน renal column แล้วให้แขนงเป็น arcuate artery ผ่านขวางอยู่บริเวณฐานของ renal pyramid ซึ่งใช้เป็น จุดบ่งชี้ในการแบ่งเนื้อ cortex ออกจาก medulla (รูปที่ 3) ต่อมา arcuate artery ให้แขนงเป็น interlobular artery เข้าไปเลี้ยงเนื้อไตส่วน cortex แล้วให้เป็น afferent arterioles เข้าไปจัดตัวเป็น glomerulus (Grep and Weiss, 1966)

ส่วนการไหลเวียนเลือดของเส้นเลือดดำนั้น คล้ายเส้นเลือดแดง โดยเลือดบริเวณ cortex และ capsule ไหลกลับทาง stellate vein ผ่านต่อไปยัง interlobular vein arcuate vein interlobar vein และออกจากไตผ่านทาง renal vein ตามลำดับ (Cormack, 1993)

### เส้นประสาท ( Nerve )

เส้นประสาทที่มาเลี้ยงไตมาจาก renal plexus รวมถึง sympathetic และ parasympathetic fiber จาก lesser และ lowest splanchnic nerve (Moore, 1992)



รูป 3 แสดงเส้นเลือดแดงที่มาเลี้ยงไต (Netter, 1989)

### การเจริญของไต (Development of Kidney )

การเจริญของไตมนุษย์มี 3 ชุด คือ

1. Pronephros
2. Mesonephros
3. Metanephros หรือ permanent kidney เป็นไตถาวรในคนต่อไป

### 1. Pronephros

เกิดจาก nephrotome ในระดับ somite ที่ 7-13 เกิดในช่วงต้นสัปดาห์ที่ 4 และในคนมีเพียงชั่วคราว และไม่ทำหน้าที่ จะเริ่มสลายไปในช่วงสัปดาห์ที่ 5-6

### 2. Mesonephros

ในช่วงต้นสัปดาห์ที่ 4 ระหว่างที่มีการสลายตัวของ pronephros จะเริ่มมีการเจริญของ excretory tubule ของ mesonephros โดยปลายด้าน medial เจริญเป็น Bowman 's capsule และมี glomerulus อยู่ภายใน รวมเรียกว่า renal corpuscle ส่วนปลายด้าน lateral เจริญเป็น mesonephric หรือ Wolffian duct (รูปที่ 4)

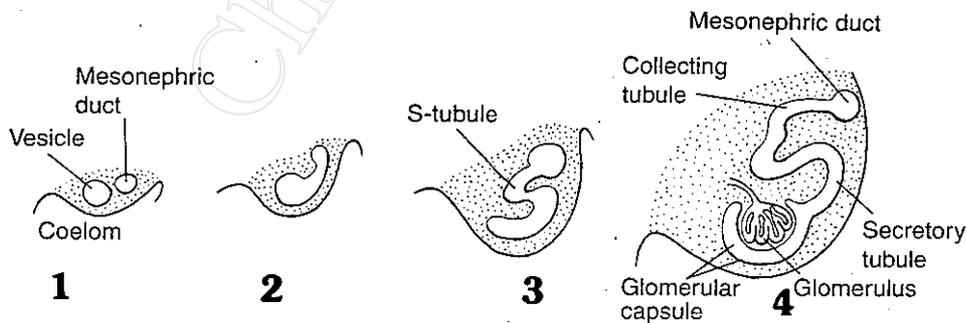
### 3. Metanephros หรือ permanent kidney

เริ่มเกิดประมาณสัปดาห์ที่ 5 โดยเจริญมาจาก 2 ส่วน คือ

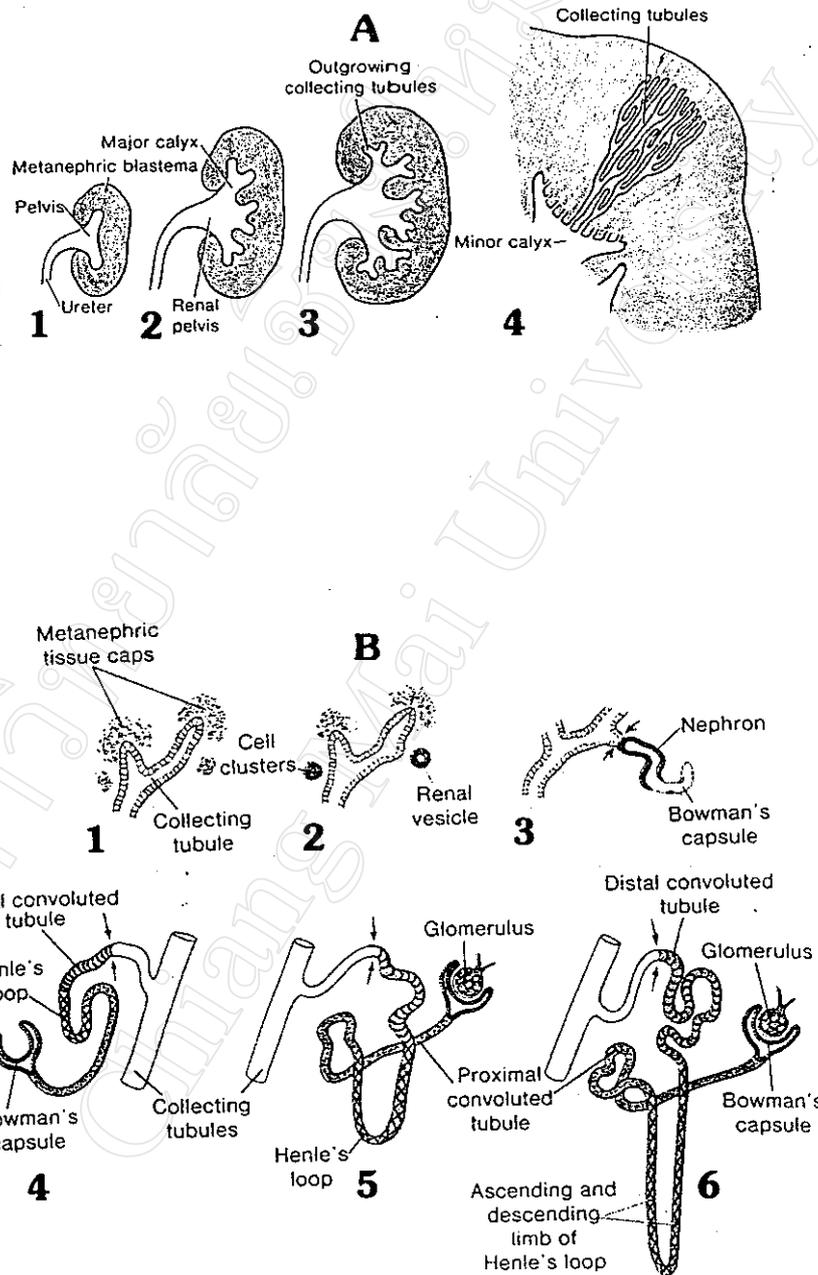
3.1. Ureteric bud เจริญขึ้นออกจาก mesonephric duct ทางด้านหลังใกล้กับบริเวณที่ duct เปิดเข้า cloaca โดย

- ส่วน caudal part เจริญเป็น ureter
- ส่วน cephalic part เจริญเป็น renal pelvis, major calyx , minor calyx ,papillary duct และ collecting duct (รูปที่ 5)

3.2. Metanephric tissue เจริญเป็น capsule หุ้มไต และ nephron ต่อมาปลายของ distal convoluted tubule จะเปิดติดต่อกับ collecting duct ส่วนปลายของ proximal convoluted tubule จะเจริญสัมพันธ์กับ capillary กลายเป็น Bowman 's capsule



รูป 4 แสดงการเจริญของ mesonephros ไปเป็น glomerular capsule, secretory tubule และ mesonephric duct (Sadler, 1995)



รูป 5 แสดงการเจริญของ metanephros (Sadler, 1995)

- A. การเจริญของ ureteric bud เป็น ureter, renal pelvis, major และ minor calyx , collecting duct
- B. การเจริญของ metanephric tissue เป็น capsule และ nephron

จากการศึกษาต่างๆ ที่ผ่านมามองเห็นได้ว่ามีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับเซลล์ collecting ducts แต่ละประเภท ในไตมนุษย์ค่อนข้างน้อย รวมถึงวิธีการย้อมสีของเซลล์เพื่อแยกแยะเซลล์ collecting ducts แต่ละประเภท ดังนั้นการศึกษานี้จึงสนใจศึกษาดูประเภทและการกระจายตัวของ intercalated cell และ principal cell ในแต่ละส่วนของ collecting duct ของไตมนุษย์ โดยใช้เทคนิคการย้อมสีพิเศษ และเทคนิคทาง Immunohistochemistry เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเทคนิคการย้อมสีเซลล์ collecting ducts แต่ละประเภทของไตและเป็นพื้นฐานของการวิจัยทางคลินิกต่อไป

#### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของเซลล์ collecting ducts ชนิด Intercalated cell และ Principal cell ในเนื้อไตส่วน cortex medulla ส่วนนอก และ medulla ส่วนในของไตมนุษย์
2. เพื่อศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์ของเซลล์ collecting ducts แต่ละชนิดของไตมนุษย์

#### ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

1. ได้รายละเอียดทางกายวิภาคศาสตร์เกี่ยวกับปริมาณและการกระจายตัวของเซลล์ collecting ducts แต่ละประเภท ในแต่ละส่วนของ collecting ducts ของไตมนุษย์
2. ได้ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบกับองค์ความรู้เดิมเกี่ยวกับลักษณะและองค์ประกอบทางจุลกายวิภาคศาสตร์ของเซลล์ collecting ducts แต่ละประเภทของไตมนุษย์ และเป็นแนวทางในการศึกษาทางสรีรวิทยาและพยาธิวิทยาต่อไป

### ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

ศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดา (light microscopy) ดูการกระจายตัวของเซลล์  
 ุ collecting ducts ชนิด Intercalated หรือ dark cell และ Principal หรือ light cell ในเนื้อไตส่วน  
 cortex medulla ส่วนนอก และ medulla ส่วนใน ของไตมนุษย์ ดังนี้

#### 1. Cortical Collecting Ducts (CCD) อยู่ในเนื้อไตส่วน cortex

เนื้อไตส่วน cortex นี้สามารถแยกจากเนื้อไตส่วน medulla ได้ด้วยตาเปล่า โดยเนื้อ  
 ไตส่วน cortex นี้จะมีสีน้ำตาลแดงเข้ม และเมื่อนำสไลด์เนื้อเยื่อไปย้อมสี สามารถแยก  
 จากเนื้อไตส่วน cortex โดยอาศัยเส้นเลือด arcuate artery

#### 2. Outer Medullary Collecting Ducts (OMCD) อยู่ในเนื้อไตบริเวณ medulla ส่วน นอก โดยแยกเป็น 2 ส่วน คือ

##### 2.1 Outer Stripe (OSOMCD)

##### 2.2 Inner Stripe (ISOMCD)

เนื้อไตส่วน outer stripe สามารถแยกจากเนื้อไตส่วน inner stripe ด้วยกล้อง  
 จุลทรรศน์ธรรมดา เมื่อดูด้วยกำลังขยายต่ำ (low power) พบว่า ส่วน outer stripe อยู่  
 ชิดกับ เนื้อไตส่วน cortex และมีความหนาแน่นของท่อต่างๆ หนาแน่นกว่าในส่วน  
 inner stripe และเมื่อดูด้วยกำลังขยายที่สูงขึ้น พบว่าส่วน outer stripe นี้ประกอบ  
 ด้วยท่อส่วนต่าง ๆ ได้แก่ proximal tubule distal tubule และ collecting duct  
 ส่วนในบริเวณ inner stripe ประกอบด้วย thin segment of Henle loop distal  
 tubule และ collecting duct

#### 3. Inner Medullary Collecting Ducts (IMCD) อยู่ในเนื้อไตบริเวณ medulla ส่วนใน

เนื้อไตบริเวณ medulla ส่วนในที่นี้แยกจากเนื้อไตบริเวณ medulla ส่วนนอก ด้วยกล้อง  
 จุลทรรศน์ธรรมดา เมื่อดูด้วยกำลังขยายต่ำ พบว่า medulla ส่วนในจะมีความหนาแน่นของ  
 ท่อต่างๆ น้อยกว่า medulla ส่วนนอกและอยู่ชิดกับ renal papilla และเมื่อดูกำลังขยายที่  
 สูงขึ้น พบว่าบริเวณ medulla ส่วนในนี้มีเพียงส่วน collecting ducts และ thin segment  
 of Henle loop เท่านั้น