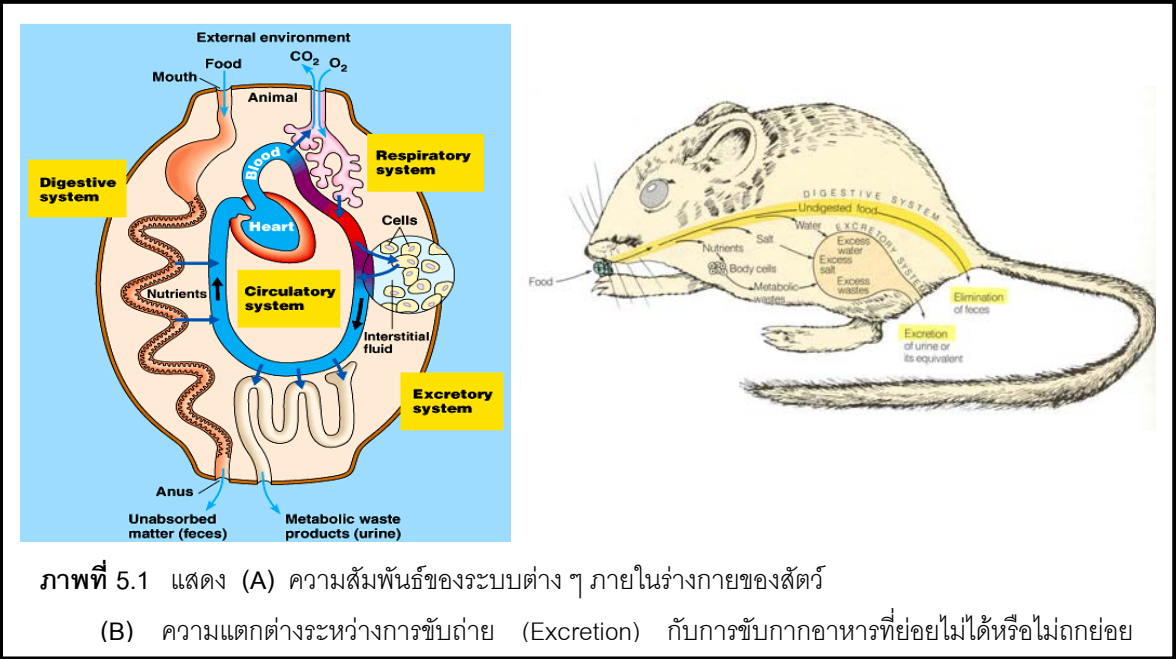


ในเซลล์หรือร่างกายของสิ่งมีชีวิต มีปฏิกิริยามากมาย ปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่า เมแทบอลิซึม ผลของกระบวนการเมแทบอลิซึมได้ผลิตภัณฑ์หลายชนิดที่มีประโยชน์ต่อเซลล์และบางชนิดเซลล์ไม่ต้องการหรือเกิดของเสีย (Metabolic waste) ร่างกายจำเป็นต้องกำจัดออก หรือเปลี่ยนเป็นสารที่มีอันตรายน้อยกว่าแล้วกำจัดออกจากร่างกายภายหลัง ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ สารประกอบไนโตรเจน และน้ำ ดังนั้น การกำจัดของเสียที่เกิดจากเมแทบอลิซึม เรียกว่า การขับถ่าย (Excretion)



ภาพที่ 5.1 แสดง (A) ความสัมพันธ์ของระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายของสัตว์ (B) ความแตกต่างระหว่างการขับถ่าย (Excretion) กับการขับกากอาหารที่ย่อยไม่ได้หรือไม่ถ่อย

ชนิดของของเสียที่เกิดจากเมแทบอลิซึม (Type of Metabolic waste)

1. ของเสียที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (Nitrogenous wastes)

เป็นผลผลิตที่เกิดจากเมแทบอลิซึมของการสลายสารโปรตีนและกรดนิวคลีอิก ซึ่งประกอบด้วย

1.1 แอมโมเนีย (Ammonia ; NH₃)

แอมโมเนียมีความเป็นพิษสูง ถ้ามีความเข้มข้นถึงระดับหนึ่งจะเป็นอันตรายต่อเซลล์มากต้องกำจัดออกจากร่างกาย โดยจะกำจัดออกในภาพแอมโมเนียไอออน (NH₄⁺)ซึ่งแอมโมเนียมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี การกำจัดต้องใช้น้ำปริมาณมาก เป็นของเสียที่พบได้ในสัตว์น้ำทั้งหมดและปลาส่วนใหญ่ นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตบางชนิดสามารถเปลี่ยนแอมโมเนียให้อยู่ในสภาพที่เป็นพิษน้อยลง เช่น ยูเรีย(Uria)หรือกรดยูริก (Uric acid)

1.2 ยูเรีย (Uria)

ยูเรียมีความเป็นพิษน้อยกว่าแอมโมเนียและละลายน้ำได้ทำให้ต้องกำจัดอยู่ในภาพของสารละลาย ดังนั้นสามารถละลายอยู่ในเลือดได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์ เป็นของเสียที่ถูกขับออกมาจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ ฉลาม และปลากระดูกแข็งบางชนิด

1.3 กรดยูริก (Uric acid)

เป็นของเสียที่ถูก ขับออกมาจากสัตว์พวก แมลง นก สัตว์เลื้อยคลาน และหอยที่อาศัยอยู่บนบก โดยการขับถ่ายออกมาปนกับอุจจาระในลักษณะครึ่งแข็งครึ่งเหลว การกำจัดกรดยูริกออกจากร่างกายเป็นกระบวนการที่สูญเสียให้น้ำน้อยที่สุดเนื่องจาก กรดยูริกเป็นสารที่ละลายน้ำได้น้อยและก่อนการกำจัดออกจากร่างกายสามารถดูดน้ำที่ปะปนมากับคืนได้เกือบหมด

2. แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

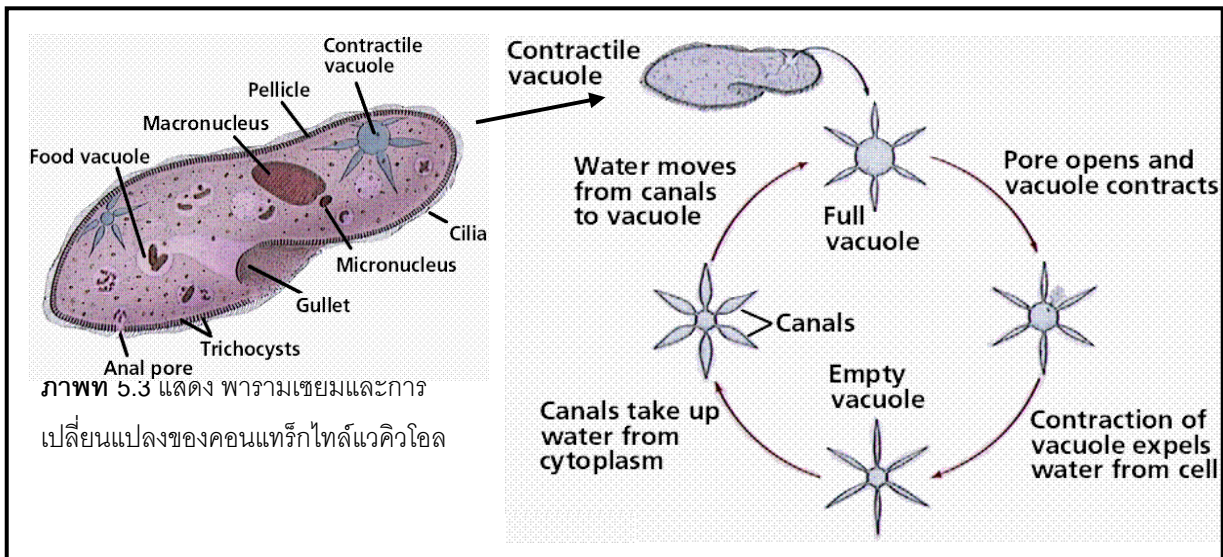
3. ไฮโดรเจน (Hydrogen) เกลือแร่(Mineral) และ น้ำ (H₂O) ที่มากเกินไปต้องการ

- สิ่งมีชีวิตต่างชนิดกันอยู่ในสภาพแวดล้อมต่างกัน มีวิธีการกำจัดของเสียออกจากร่างกายเหมือนหรือต่างกันอย่างไร ?

การขับถ่ายของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว

โพรทิสต์เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว เช่น พารามีเซียม อะมีบา ยูกลีนา ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เป็นน้ำ ของเสียที่เกิดขึ้นได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และแอมโมเนีย (Ammonia) จะแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ออกสู่สิ่งแวดล้อม โพรทิสต์บางชนิดที่อาศัยอยู่ในน้ำจืด เช่น อะมีบาและพารามีเซียม ซึ่งสิ่งแวดล้อมภายนอกมีความเข้มข้นน้อยกว่าไซโทพลาซึมทำให้น้ำ

ออกซิเจนซึมผ่านเข้าสู่ในเซลล์ได้ตลอดเวลา สิ่งมีชีวิตพวกนี้จะมีออร์แกเนลล์ **คอนแทร็กไทล์แวคิวโอล (Contractile vacuole)** เพื่อทำหน้าที่รักษาสสมดุลของน้ำ และของเสียส่วนใหญ่จึงขับถ่ายป็นออกมากับน้ำ

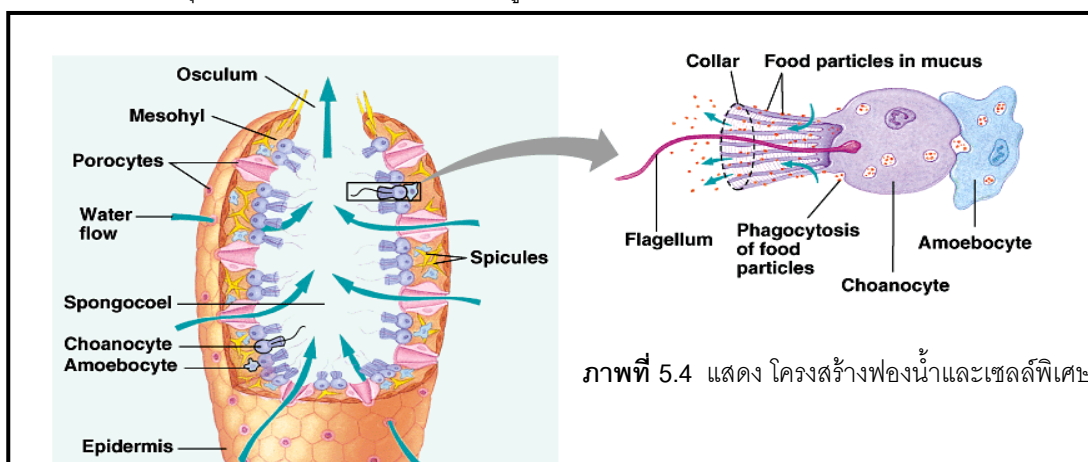


การขับถ่ายของสัตว์

1 การขับถ่ายของสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (Invertebrate excretion)

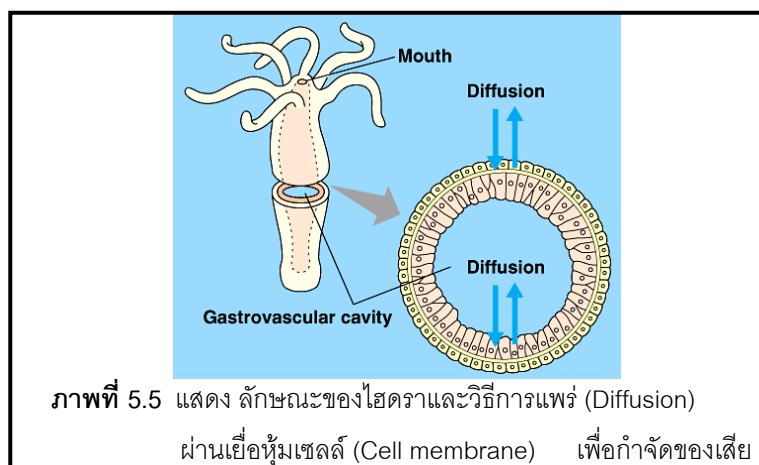
- ฟองน้ำ (sponges)

ไม่มีอวัยวะในการขับถ่ายของเสีย แต่ละเซลล์สัมผัสกับน้ำโดยตรง ของเสียพวกแอมโมเนียและแก๊สจะใช้วิธีการแพร่ (Diffusion) ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) ออกสู่สภาพแวดล้อม



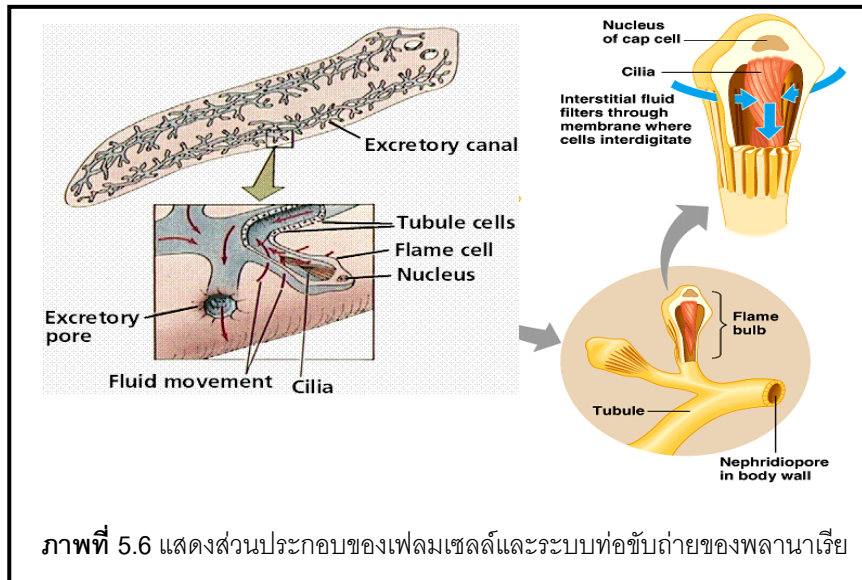
- ไฮดรา (Hydra)

ไม่มีอวัยวะในการขับถ่าย แต่กำจัดแก๊สและของเสียพวกแอมโมเนียโดยวิธีการแพร่ (Diffusion) ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) ของแต่ละเซลล์



- หนอนตัวแบน (Flat worms)

เช่น พลาณาเรีย อาศัยอยู่ในน้ำดำรงชีวิตแบบอิสระ เป็นสัตว์ไฟลัมแรกที่มีท่อขับถ่ายที่เรียกว่า โปรโทเนฟริเดีย (Protonephridia) ประกอบด้วยท่อตามยาวหลายท่อ (Protonephridial canal) ซึ่งกระจายอยู่ข้างตลอดตามความยาวของลำตัว จากท่อเล็ก ๆ นี้จะมีท่อแยกออกเป็นท่อย่อย ๆ ที่ปลายท่อ มีเซลล์ที่มีลักษณะคล้ายภาพถ้วย (Flame bulb) มีขนาดเล็ก ๆ



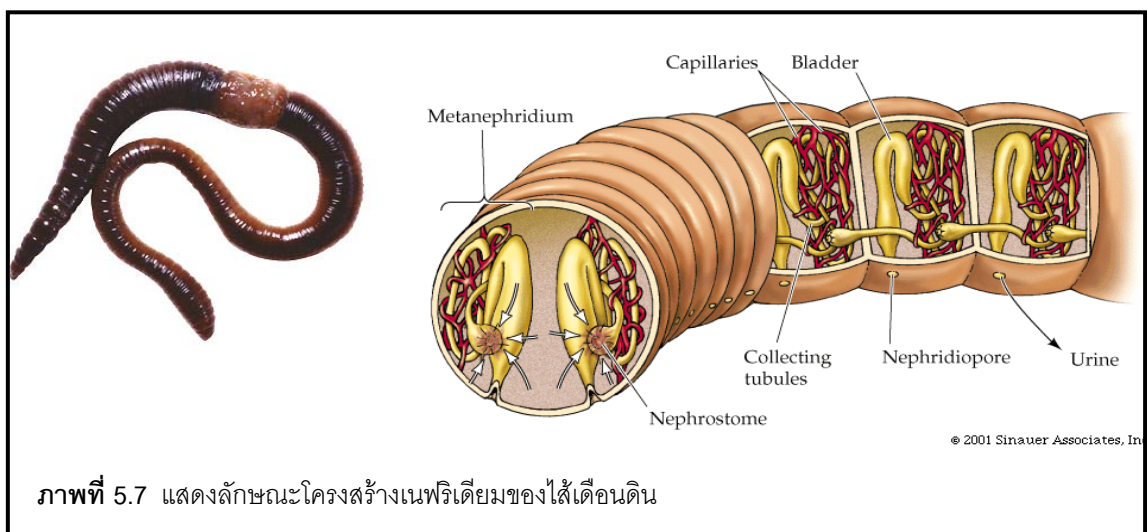
(cilia) เป็นกระจุกอยู่ภายในของถ้วยซึ่งโบกไปมาเหมือนการโบกของเปลวเทียน จึงเรียกว่า เฟลมเซลล์ (Flame cell = เซลล์เปลวไฟ) การพัดโบกของซิเลียจะโบกพัดน้ำและของเสียจากเฟลมเซลล์ให้ไหลออกมาตามท่อรับของเหลวและออกภายนอกทางช่องขับถ่ายที่ผนังลำตัว ที่เรียกว่า เนฟริดิโอพอร์ (Nephridiopore) นอกจากนี้ของเสียพวกแอมโมเนียยังกำจัดออกโดยการแพร่ทางผิวหนังได้ด้วย

- แอนนาลิด (Annelid)

เช่น ไส้เดือนดิน เป็นสัตว์ที่มีลำตัวแบ่งเป็นข้อปล้อง แต่ละปล้องจะมีอวัยวะขับถ่ายที่ เรียกว่า เนฟริเดียม (Nephridium) หรือเมตาเนฟริเดียม (Metanephridium) มีอยู่ปล้องละ 1 คู่ ลักษณะเป็นท่อขดไปมา มีปลายเปิดสองข้างทำงานเป็นอิสระแก่กัน เนฟริเดียมประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

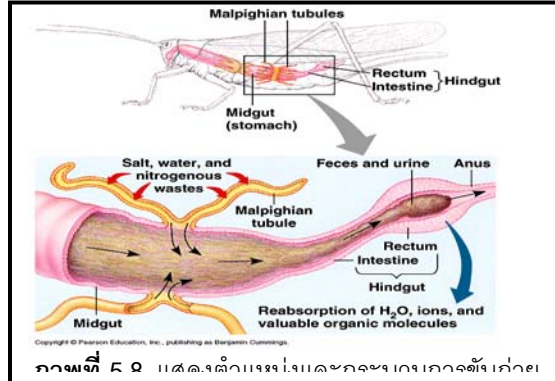
- ส่วนที่เป็นกรวยรับของเหลวจากช่องลำตัวที่มีของเสียอยู่ ซึ่งมีลักษณะเหมือนปากแตรภายในมีซิเลียล้อมรอบ เรียกว่า เนโฟรสโตม (Nephrostome) ส่วนนี้จะอยู่ช่องลำตัว
- ส่วนที่เป็นท่อยาว (Nephridial tubule) ขดไปไม่มีเส้นเลือดพันรอบท่อนี้เพื่อคูดน้ำและของเหลวที่มีประโยชน์กลับนำไปใช้ประโยชน์อีกครั้ง ตอนปลายของท่อจะพองขยายตัวออกเป็นที่พักของเหลว เรียกว่า ถุง (Bladder)
- ส่วนช่องเปิดของเนฟริเดียม เรียกว่า เนฟริดิโอพอร์ (Nephridiopore) เป็นปลายของท่อเปิดออกสู่ภายนอกทางผิวหนัง

เนฟริเดียมจะทำหน้าที่ขับถ่ายของเสียพวกแอมโมเนียและยูเรีย ส่วนน้ำและแร่ธาตุบางชนิดที่มีประโยชน์จะดูดกลับเข้าสู่กระแสเลือด เนฟริเดียมจึงทำหน้าที่ทั้งกรองและดูดสารกลับ ซึ่งลักษณะการทำงานของเนฟริเดียมจะคล้ายคลึงกับหน่วยไตของสัตว์มีกระดูกสันหลัง

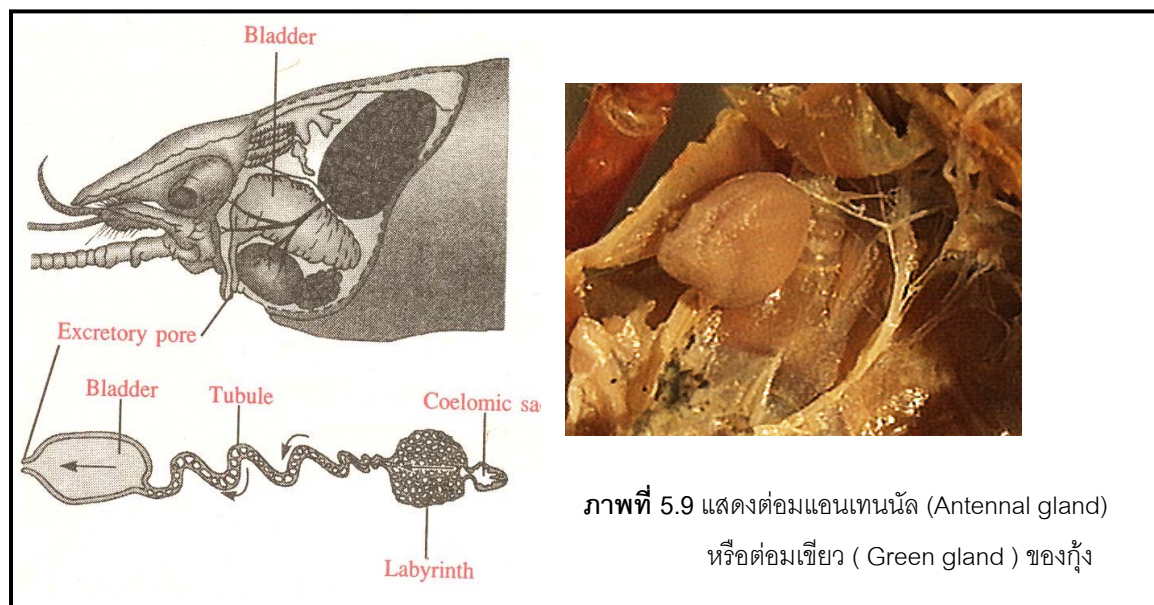


- อาร์โทรพอด (Arthropod)

เช่น พวกแมลง มีอวัยวะขับถ่ายเรียกว่า **ท่อมัลพิเกียน (Malpighian tubule)** มีลักษณะเป็นท่อเล็ก ๆ แทรกอยู่ในลำตัว ท่อเหล่านี้มีลักษณะคล้ายถุงยื่นออกมาจากทางเดินอาหารตรงบริเวณรอยต่อของทางเดินอาหารส่วนกลางและท้าย ปลายของท่อมัลพิเกียนจะลดยเป็นอิสระอยู่ในช่องของลำตัว ในช่องเหล่านี้จะมีของเสีย น้ำ และสารต่าง ๆ ซึ่งจะถูกลำเลียงเข้าสู่ท่อมัลพิเกียนและผ่านไปตามทางเดินอาหาร ขณะเดียวกันจะมีกลุ่มเซลล์บางกลุ่มที่บริเวณทางเดินอาหารส่วนใต้ตรงทำหน้าที่ดูดน้ำและสารที่มีประโยชน์กลับเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด ส่วนของเสียพวกสารประกอบไนโตรเจนจะเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ขับออกมาพร้อมกับกากอาหาร



ครัสเตเชียน เช่น กุ้ง มีอวัยวะขับถ่าย เรียกว่า ต่อมแอนเทนนัล (Antennal gland) หรือต่อมเขียว (Green gland) มีอยู่ 1 คู่ ที่บริเวณฐานของหนวด ต่อมแอนเทนนัลทำหน้าที่กรองของเสียสารประกอบพวกไนโตรเจน โดยของเหลวจากฮีโมลิมฟ์ถูกกรองเข้าสู่ถุงในช่องลำตัว (Coelomic sac) ของเสียผ่านไปตามท่อตอนปลายของท่อพองออกเป็นถุง (Bladder) เพื่อพักของเหลวก่อนปล่อยออกนอกร่างกายทางรูขับถ่าย (Excretory pore)

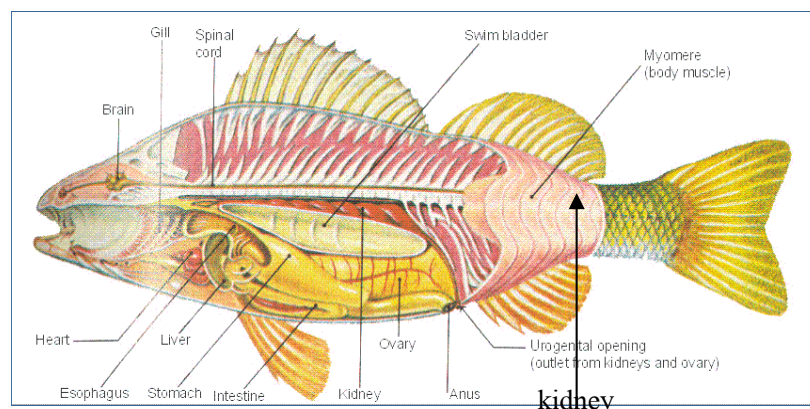


ภาพที่ 5.9 แสดงต่อมแอนเทนนัล (Antennal gland) หรือต่อมเขียว (Green gland) ของกุ้ง

5.2.2 การขับถ่ายของสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง (Vertebrate excretion)

- ปลา

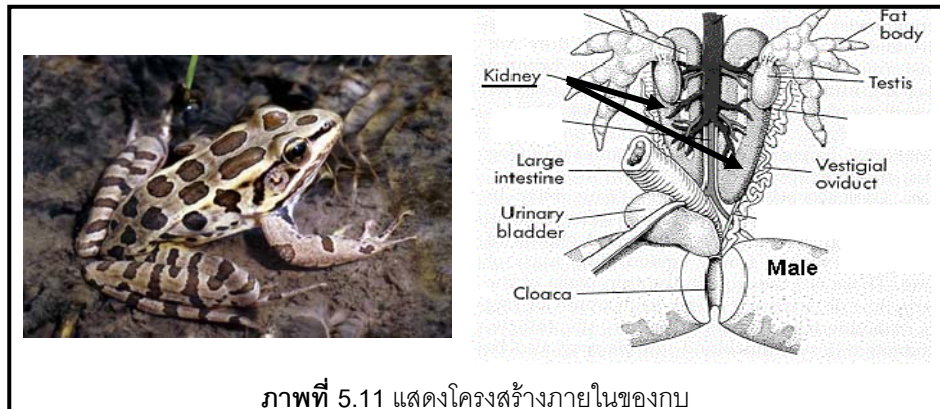
มีอวัยวะขับถ่ายประกอบด้วย ไต 1 คู่ อยู่ในช่องท้องติดกับกระดูกสันหลัง ไตทำหน้าที่กำจัด ของเสียยูเรียและของเสียอื่น ๆ ออกจากเลือด ของเสียจะผ่านท่อไต (Ureter) ไปยังกระเพาะปัสสาวะ (Urinary bladder) และเปิดออกทาง Urogenital opening



ภาพที่ 5.10 แสดงลักษณะไตและโครงสร้างภายในของปลา

- สัตว์สะเทินน้ำและสะเทินบก (Amphibian)

เช่น กบ อวัยวะขับถ่ายประกอบด้วย ไต 1 คู่ ไตแต่ละข้างจะมีท่อไต (Urinary duct หรือ Ureter) นำน้ำปัสสาวะไปเปิดเข้าโคลเอกา (Cloaca) ทางด้านหลัง ทางด้านท้องของโคลเอกามีถุงผนังบางปลายหยักติดอยู่ คือ กระเพาะปัสสาวะ (Urinary bladder) ของเสียที่เข้าสู่โคลเอกาจะถูกขับออกทันทีหรือนำมาเก็บที่กระเพาะปัสสาวะ



ภาพที่ 5.11 แสดงโครงสร้างภายในของกบ

- สัตว์เลื้อยคลานและสัตว์ปีก (Reptile and Aves)

อวัยวะขับถ่ายมีไต (Kidney) 1 คู่ น้ำปัสสาวะผ่านท่อไต (Urinary duct หรือ Ureter) เข้าสู่โคลเอกาแล้วไปสะสมที่กระเพาะปัสสาวะ (Urinary bladder) และสุดท้ายจะขับถ่ายออกทางช่องเปิดของโคลเอกา (Cloaca opening) อวัยวะขับถ่ายสามารถที่จะเปลี่ยนของเสียประเภทแอมโมเนียให้กลายเป็นกรดยูริก (Uric acid) ซึ่งไม่เป็นพิษ กรดยูริกจะละลายน้ำได้น้อยมาก และตกตะกอนในน้ำ ดังนั้นน้ำปัสสาวะของสัตว์พวกนี้จะอยู่ในลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Semisolid) กรดยูริกที่มายังโคลเอกาจะตกตะกอนเป็นผลึกสีขาวรวมตัวกับอุจจาระ ถ้านักเรียนสังเกตอุจจาระของจิ้งจก จะพบว่า มีทั้งสีดำและสีขาว ส่วนที่มีสีดำเป็นกากอาหารที่ย่อยไม่ได้ สำหรับส่วนสีขาวเป็นกรดยูริก

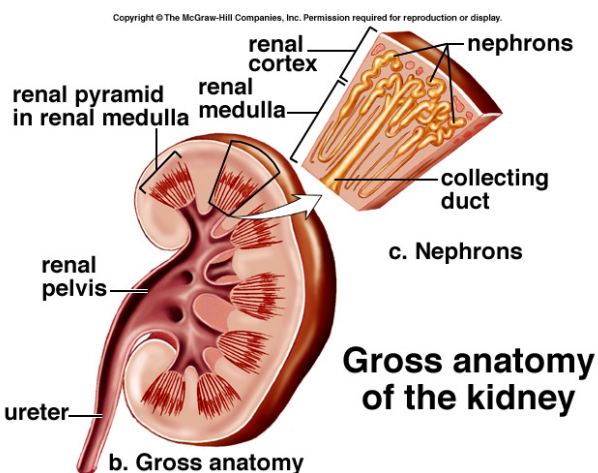
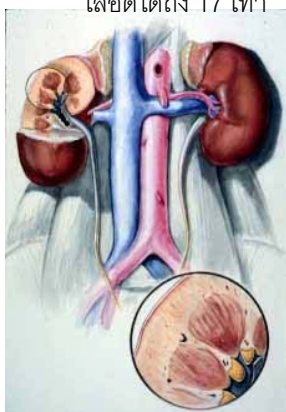
เอ็มบริโอของสัตว์พวกนี้ ขณะที่อยู่ในไข่จะขับของเสียในภาพกรดยูริกเก็บสะสมไว้ในถุง แอลแลนทอยด์ (Allantosis) จนกระทั่งเอ็มบริโอฟักออกมาเป็นตัว

- สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม (Mammal)

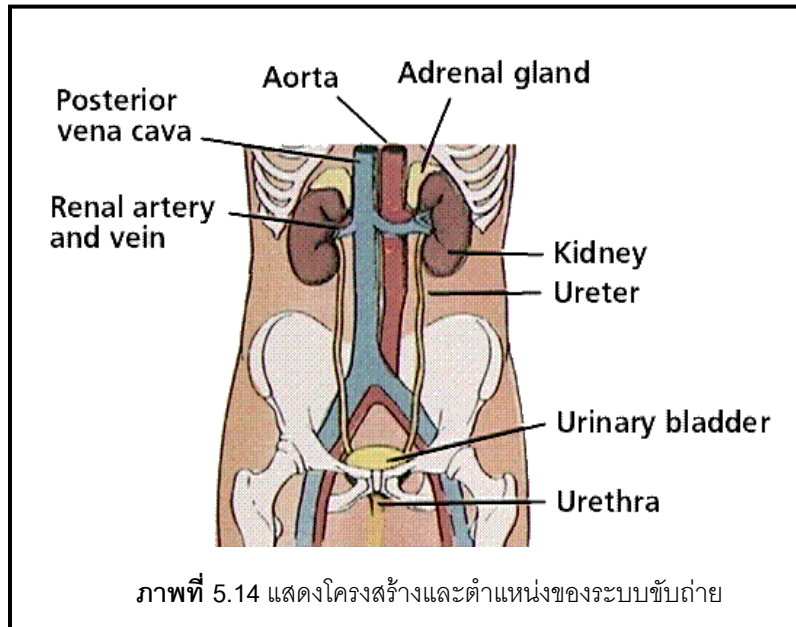
อวัยวะขับถ่ายประกอบด้วย ไต 1 คู่ โครงสร้างของไตประกอบด้วยเนื้อเยื่อชั้นนอก คือ คอร์เทกซ์ (Cortex) และเยื่อชั้นใน คือ เมดัลลา (Medulla) ในเนื้อเยื่อของไตมีหน่วยไต (Nephron) เป็นจำนวนมาก ทำหน้าที่สร้างน้ำปัสสาวะและลำเลียงไปตามท่อไต (Ureter) และเก็บไว้ที่กระเพาะปัสสาวะ (Urinary bladder) ก่อนจะขับถ่ายออกนอกร่างกายทางท่อปัสสาวะ (Urethra)

สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมจะขับถ่ายของเสียซึ่งเป็นสารประกอบไนโตรเจนในสภาพยูเรีย ดังนั้นจะมีลักษณะต่อไปนี้

- ต้องการน้ำในการขับถ่ายยูเรียมากกว่าที่ใช้ในการขับถ่ายกรดยูริก
- มีหลอดเลือดมายังโกลเมอรูลัสมาก
- ถึงแม้ว่าไตของคนจะดูน้ำหนักกลับคีนได้มากที่สุด แต่ในวันหนึ่ง ๆ คนเราต้องถ่ายปัสสาวะเพื่อกำจัดยูเรีย
- ไตของหนูทะเลทรายบางชนิด เช่น หนูทะเลทราย (kangaroo rat) สามารถขับถ่ายยูเรียที่มีความเข้มข้นมากกว่าเลือดได้ถึง 17 เท่า



คนมีไตเป็นอวัยวะขับถ่าย ไตของคนมี 1 คู่ อยู่ในช่องท้องสองข้างของกระดูกสันหลังบริเวณเอว ยาวประมาณ 10-13 เซนติเมตร กว้าง 6 เซนติเมตร และหนา 3 เซนติเมตร ไตแต่ละข้างหนักประมาณ 150 กรัม ต่อจากไตทั้งสองข้างมีท่อไต (ureter) ทำหน้าที่ลำเลียงปัสสาวะไปเก็บไว้ที่กระเพาะปัสสาวะ (urinary bladder) ก่อนที่จะขับถ่ายออกนอกร่างกายทางท่อปัสสาวะ (urethra)



5.3.1 โครงสร้างภายในของไต

ถ้าผ่าตามยาวไตจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ คือ

1. รินัลแคปซูล (Renal capsule) เป็นส่วนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่ด้านนอกสุดหุ้มรอบไต
2. เนื้อไต ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

2.1 เนื้อไตชั้นนอก หรือรินัลคอร์เทกซ์ (Renal Cortex)

มีสีแดง ลักษณะเป็นจุดๆ แต่ละจุดเมื่อขยายดูเป็นกลุ่มของเส้นเลือดฝอยที่เรียกว่า โกลเมอรูลัส (Glomerulus) และถุงโบว์แมนส์แคปซูล (Bowman's Capsule) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการกรองของเสียออกจากเลือด นอกจากนี้ยังเป็นที่อยู่ของท่อหน่วยไตส่วนต้น (Proximal tubule) และท่อหน่วยไตส่วนปลาย (Distal tubule) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของหน่วยไต (Nephron)

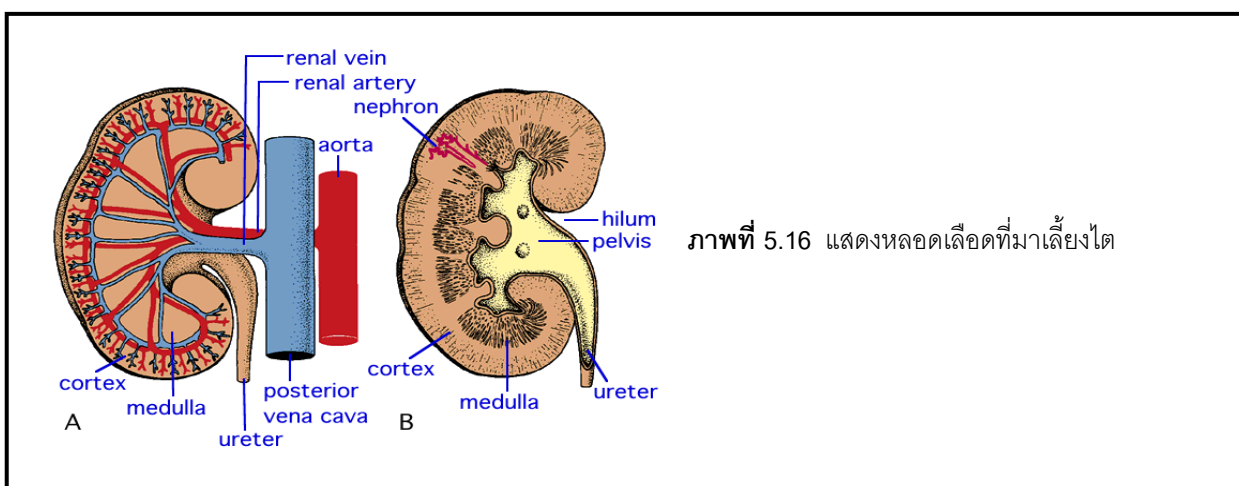
2.2 เนื้อไตชั้นใน หรือรินัลเมดัลลา (Renal medulla)

เป็นชั้นที่มีสีจางกว่าเนื้อไตชั้นนอก มีลักษณะเป็นเส้น ๆ หรือหลอดเล็ก ๆ รวมกันเป็นกลุ่ม ๆ มีรูปร่างลักษณะ เป็นภาพสามเหลี่ยมคล้ายพีระมิด เรียกว่า รินัลพีระมิด (Renal pyramid) ปลายยอดของพีระมิดเป็นยอดแหลมซึ่งเกิดจากท่อรวม (Collecting tubule) มารวมกันเรียกว่าพาพิลลา (Papilla) จะยื่นและเปิดเข้าไปในไมเนอร์แคลิกซ์ (Minor calyx) ซึ่งเป็นที่รองรับน้ำปัสสาวะจากพาพิลลา หลาย ๆ ไมเนอร์แคลิกซ์ รวมเป็นเมเจอร์แคลิกซ์ (Major calyx) และนำน้ำปัสสาวะส่งเข้าสู่บริเวณที่มีลักษณะเป็นกรวย เรียกว่า กรวยไต (Renal pelvis)

3. กรวยไต (Renal pelvis)

ทำหน้าที่รองรับน้ำปัสสาวะที่มาจากแคลิกซ์ และส่งต่อไปสู่ท่อไต (Ureter) นำเข้าสู่กระเพาะปัสสาวะและนำน้ำปัสสาวะออกทางท่อปัสสาวะ

ทั้งชั้นคอร์เทกซ์และเมดัลลา ประกอบด้วยหน่วยย่อยของไตที่ทำหน้าที่ในการสร้างน้ำปัสสาวะ เรียกว่า หน่วยไต (nephron) นอกจากนี้ยังพบหลอดเลือด ท่อน้ำเหลืองและเส้นประสาทในชั้นเนื้อไตด้วย



ไตแต่ละข้างจะประกอบด้วยหน่วยไต หรือเนฟรอน (Nephron) ประมาณ 1 ล้านหน่วย เป็นหน่วยย่อยที่ทำหน้าที่สร้างน้ำปัสสาวะ (Functional unit) ของไต

ส่วนประกอบของหน่วยไต (Nephron) แต่ละอัน ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. **รีนัลคอร์ปัสเคิล (Renal corpuscle)** เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการกรอง (Filtering unit) ซึ่งประกอบด้วย

1.1 **โกลเมอรูลัส (Glomerulus)** : เป็นกลุ่มหลอดเลือดฝอย (Glomerulus capillaries) ที่ขดรวมกันบรรจุอยู่ในโบว์แมนส์แคปซูล (Bowman's capsule) ทำหน้าที่กรองน้ำและสารบางชนิดออกจากพลาสมาให้เข้ามาในท่อหน่วยไต

1.2 **โบว์แมนส์แคปซูล (Bowman's capsule)** : เป็นส่วนต้นของท่อหน่วยไตส่วนต้นที่ปลายข้างหนึ่งโป่งออกมาเป็นกระเปาะภาพทรงกลม แต่มีรอยบุ๋มเข้าไปข้างใน คล้ายถ้วย เป็นถุงหุ้มโกลเมอรูลัส และของเหลวที่กรองได้จะผ่านเข้ามายังบริเวณนี้

2. **ส่วนท่อของหน่วยไต (Renal tubule)** เป็นท่อกว้างมีผนังประกอบด้วยเซลล์เยื่อบุผิว (Epithelial cell) บางชั้นเดียววนท่อหน่วยไต ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของของเหลวที่กรองได้ให้เป็นน้ำปัสสาวะ ท่อของหน่วยไต ประกอบด้วยท่อส่วนต่าง ๆ ดังนี้

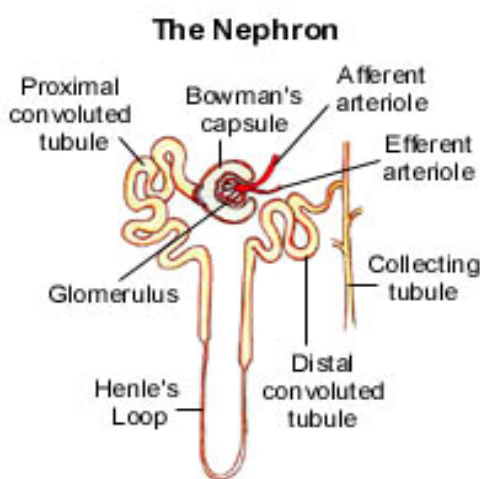
2.1 **ท่อส่วนต้น (Proximal tubule)** อยู่ต่อ โบว์แมนส์แคปซูล (Bowman's capsule) เป็นท่อขดไปมาชั้นคอร์เทกซ์ (Cortex) เป็นบริเวณที่มีการดูดสารกลับเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดมากที่สุด

2.2 **ท่อหน่วยไตภาพตัวยู หรือห้วงเฮนเล (U-shape / Henle's loop)** หลอดโค้งภาพตัวยู ยื่นเข้าไปในชั้นเมดัลลา (Medulla) ประกอบด้วย

- ท่อขาลง (Descending limb)
- ท่อขาขึ้น (Ascending limb) แยกได้เป็น 2 ส่วน คือ ท่อส่วนบาง และท่อส่วนหนา (Thin and thick ascending limb) ตามลำดับ

2.3 **ท่อขดส่วนปลาย (Distal tubule)** ต่อจาก Henle's loop เป็นท่อขดไปมาในชั้นคอร์เทกซ์ (Cortex) ท่อส่วนนี้จะมาเปิดรวมกับท่อรวม (Collecting tubule)

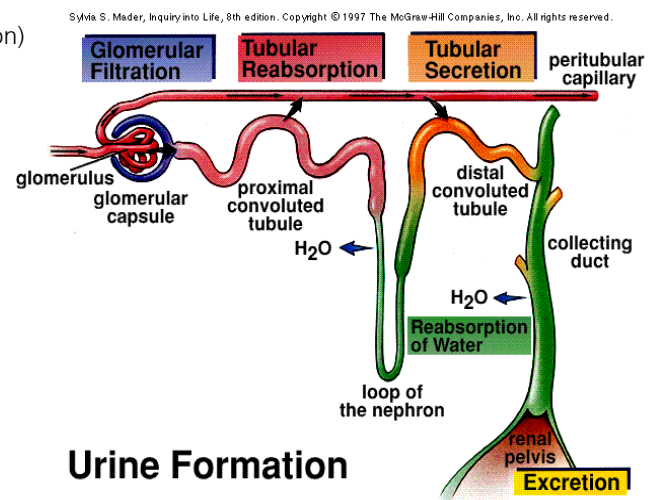
2.4 **ท่อรวม (Collecting tubule)** เป็นบริเวณที่ท่อขดส่วนปลายของหน่วยไตอื่น ๆ มาเปิดรวมกัน เพื่อนำน้ำปัสสาวะส่งต่อไปยังกรวยไต (Pelvis) ท่อไต (Ureter) กระเพาะปัสสาวะ (Urenary bladder) และท่อปัสสาวะ (Urethra) ตามลำดับ



ภาพที่ 5.17 แสดงโครงสร้างของหน่วยไต

หน่วยไตจะทำหน้าที่ในการสร้างน้ำปัสสาวะ (Urine formation) ประกอบด้วยกระบวนการที่สำคัญ 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. การกรองสารที่โกลเมอรูลัส (Glomerular filtration / Ultrafiltration)
2. การดูดสารกลับที่ท่อหน่วยไต (Tubular reabsorption)
3. การหลั่งสารโดยท่อหน่วยไต (Tubular Secretion)



ภาพที่ 5.18 แสดงกระบวนการสร้างน้ำปัสสาวะของหน่วยไต

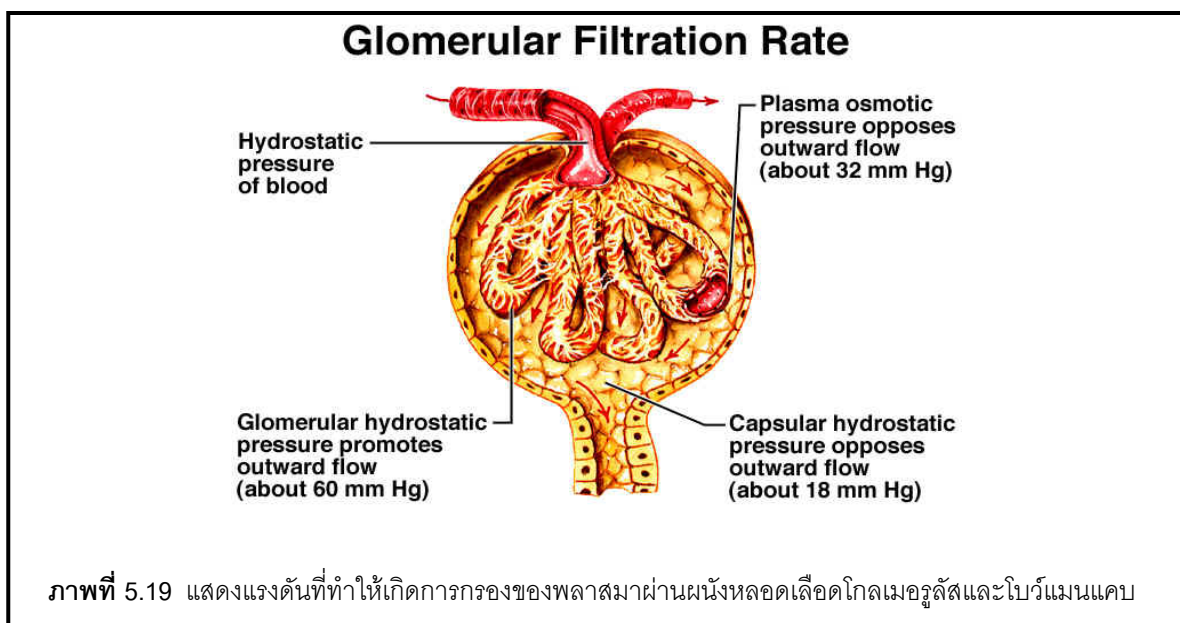
Urine Formation

1. การกรองสารที่โกลเมอรูลัส (Glomerular filtration / Ultrafiltration)

เป็นกระบวนการแรกที่สร้างน้ำปัสสาวะ ในแต่ละนาทีจะมีเลือดเข้าสู่ไตจำนวน 1200 ml เลือดจำนวนนี้ถูกกรองผ่านผนังของหลอดเลือดฝอยที่โกลเมอรูลัส ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นเยื่อกรอง ของเหลวที่ผ่านจากการกรอง เรียกว่า Glomerular Filtrate หรือ Ultrafiltrate ได้แก่ น้ำ ยูเรีย กลูโคส โซเดียมคลอไรด์ เกลือแร่ต่าง ๆ จะเข้าสู่โบว์แมนส์แคปซูล 125 ml เลือดส่วนที่เหลือจะไหลไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของท่อหน่วยไต และเปลี่ยนเป็นเลือดดำแล้วออกจากไตไปทางหลอดเลือดรีนัลเวเน

การกรองจะอาศัยแรงดันของของเหลวในเส้นเลือดฝอยโกลเมอรูลัส แรงซึ่งต้านการกรองซึ่งเป็นแรงดันของของเหลวที่อยู่ในโบว์แมนแคปซูล และแรงดันออสโมติกของสารละลายโปรตีนในพลาสมา

เยื่อกรองจะยอมให้น้ำและสารโมเลกุลขนาดเล็กกว่ารู เช่น ยูเรีย โซเดียม กลูโคส ผ่านออกมาได้สะดวก แต่จะไม่ยอมให้สารขนาดใหญ่ผ่าน เช่น เซลล์เม็ดเลือด โปรตีน ไขมัน ในคนปกติพบว่าพลาสมาจะถูกกรองประมาณวันละ 180 ลิตร แต่มีปัสสาวะออกมาเพียง 1.5-2 ลิตร ซึ่งเป็นของเสียส่วนน้อยเพียง 1 % ที่ถูกขับออกมาและของเหลวที่มีประโยชน์ส่วนมากอีก 99 % จะถูกดูดกลับหมด



2. การดูดสารกลับที่ท่อหน่วยไต (Tubular reabsorption)

เซลล์เยื่อบุผิวที่ท่อหน่วยไตมีบทบาทในการดูดสารกลับเนื่องจากมีไมโครวิลไลช่วยเพิ่มพื้นที่ในการดูดซึมและมีไมโทคอนเดรียเพื่อให้พลังงานในการดูดกลับแบบที่ใช้พลังงาน นอกจากนี้ยังมีการดูดกลับแบบไม่ใช้พลังงาน ท่อหน่วยไตแต่ละส่วนมีการดูดสารกลับดังนี้

2.1 ท่อขดส่วนต้น (Proximal tubule) จะเกิดมากที่สุดประมาณ 80 % มีการดูดกลับแบบใช้พลังงาน (Active transport) ได้แก่ กลูโคส โปรตีนโมเลกุลเล็ก กรดอะมิโน วิตามิน Na^+ K^+ และการดูดกลับแบบไม่ใช้พลังงาน (Passive transport) ได้แก่ ยูเรีย น้ำ Cl^- HCO_3^-

2.2 ท่วงเฮนเล (Henle's loop)

- ท่อขาลง (Descending) : เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากท่วงเฮนเลโดยกระบวนการออสโมซิส
- ท่อขาขึ้น (Ascending) : มีการดูด NaCl กลับทั้งแบบไม่ใช้พลังงานและแบบใช้พลังงาน ส่วนน้ำจะเคลื่อนออกจากท่อขาขึ้นไม่ได้เนื่องจากผนังส่วนนี้มีคุณสมบัติไม่ยอมให้น้ำผ่าน (Impermeable)

2.3 ท่อหน่วยไตส่วนปลาย (Distal convoluted tubule) มีการดูดน้ำกลับแบบไม่ใช้พลังงาน ส่วนการดูดกลับของ NaCl และ HCO_3^- กลับแบบใช้พลังงาน โดยการดูดกลับของน้ำและ Na^+ อยู่ภายใต้อิทธิพลของฮอร์โมน ADH (Antidiuretic hormone) และ Aldosterone ตามลำดับ

2.4 ท่อรวม (Collecting tubule) มีการดูดน้ำกลับแบบไม่ใช้พลังงาน ดูดกลับของ Na^+ แบบใช้พลังงาน และยอมให้ยูเรียแพร่ออก โดยการดูดกลับ อยู่ภายใต้อิทธิพลของฮอร์โมน ADH (Antidiuretic hormone)

3. การหลั่งสารโดยท่อหน่วยไต (Tubular Secretion)

เป็นการขนส่งสารจากเลือดเข้าไปยังท่อหน่วยไต โดยการขับสารบางตัวออกจากเลือด ที่ท่อขดส่วนต้น (Proximal tubule) มีการหลั่งสารหลายชนิด เช่น หลั่ง H^+ K^+ NH_4^+ และที่บริเวณท่อหน่วยไตส่วนท้าย (Distal convoluted tubule) มีการหลั่ง H^+ K^+ ยาและสารพิษบางชนิด

ตารางเปรียบเทียบสารในเลือด ของเหลวที่กรองผ่านโกลเมอรูลัสและน้ำปัสสาวะ

สาร	น้ำเลือด (g/100cm ³)	ของเหลวที่กรองผ่านโกลเมอรูลัส (g/100 cm ³)	น้ำปัสสาวะ (g/100 cm ³)
น้ำ	92	90-93	95
โปรตีน	6.8-8.4	10-20	0
ยูเรีย	0.0008-0.25	0.03	2
กรดยูริก	0.003-0.007	0.003	0.05
แอมโมเนีย	0.0001	0.0001	0.05
กลูโคส	0.07-0.11	0.1	0
โซเดียม	0.31-0.33	0.32	0.6
คลอไรด์	0.35-0.45	0.37	0.6
ซัลเฟต	0.002	0.003	0.15

5.4 ไตกับการรักษาสมดุลน้ำและสารต่าง ๆ

ไตควบคุมน้ำของร่างกายในสภาพการขับน้ำปัสสาวะ ถ้าร่างกายขาดน้ำหรือน้ำในเลือดน้อยทำให้ปริมาตรน้ำในเลือดลดลง ความเข้มข้นของเลือดเพิ่มมากขึ้นทำให้แรงดันออสโมติกของเลือดสูงขึ้น จะไปกระตุ้นตัวรับรู้ (receptor) การเปลี่ยนแปลงแรงดันออสโมติกในสมองส่วนไฮโปทาลัม ไปกระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนท้าย (Posterior lobe of piuitary gland)ให้ปล่อยฮอร์โมนแอนติไดยูเรติก (Antidiuretic hormone ;ADH หรือ Vasopressin) ออกมาสู่กระแสเลือดและส่งไปยังท่อหน่วยไตส่วนปลายและท่อรวม ทำให้เกิดการดูดน้ำกลับเข้าสู่เลือดมากขึ้น ปริมาตรของเลือดมากขึ้นพร้อมกับขับน้ำปัสสาวะออกน้อยลง นอกจากนี้ภาวะที่มีการขาดน้ำของร่างกายยังกระตุ้นศูนย์ควบคุมการกระหายน้ำในสมองส่วนไฮโปทาลามัสทำให้เกิดการกระหายน้ำ เมื่อดื่มน้ำมากขึ้นแรงดันออสโมติกในเลือดจึงเข้าสู่สภาวะปกติ

นอกจากนี้ท่อหน่วยยังสามารถดูดน้ำและแร่ธาตุอื่น ๆ กลับเข้าสู่เส้นเลือดได้อีก เช่น โซริโมน แอลโดสเตอโรน (Aldosterone) จากต่อมหมวกไตจะควบคุมสมดุลของโซเดียม โพแทสเซียม และฟอสเฟต โดยกระตุ้นให้มีการดูดสารดังกล่าวกลับเข้าสู่กระแสเลือด ไตยังช่วยรักษาสมดุลของกรด-เบสในร่างกายด้วยการขับไฮโดรเจนไอออนออก และดูดซึมไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออนกลับจากท่อไตที่ท่อขดส่วนต้นและส่วนปลาย

นักกีฬาหรือคนปกติที่ออกกำลังกายอย่างหนัก หรืออยู่ในสภาพที่ร้อนจัด น้ำหนักตัวจะลดลงร้อยละ 3-8 เนื่องจากการสูญเสียของเหลวของร่างกาย สภาวะเช่นนี้ทำให้ร่างกายเกิดภาวะขาดน้ำ (dehydration) ภาวะการขาดน้ำของร่างกายจะรุนแรงยิ่งขึ้น ถ้าร่างกายไม่ได้รับน้ำทดแทนภายในระยะเวลาอันสั้น

5.5 ความผิดปกติที่เกี่ยวข้องกับไตและโรคของไต

ไตเป็นอวัยวะที่สำคัญมากอวัยวะหนึ่งของร่างกาย หากทำงานผิดปกติไปก็จะเป็นอันตรายต่อร่างกายได้ โรคที่เกี่ยวข้องไตมีมากมายหลายโรคที่รู้จักกันมาก คือ

- โรคนิ่ว (Calculus)

ทั้งนี้ในไต ท่อไต หรือนิ่วในกระเพาะปัสสาวะ โรคนี้สาเหตุ เกิดจากตะกอนของแร่ธาตุต่าง ๆ ในน้ำปัสสาวะรวมตัวเป็นก้อนอุดตันในท่อปัสสาวะ และอาจมีสาเหตุมาจากการที่ร่างกายกรองหรือกำจัดแร่ธาตุออกมามาก ตะกอน อาจจะมีการอักเสบติดเชื้อทำให้มีการจับกันของผลึกเป็นก้อนนี้ไวได้เร็ว นอกจากนี้ยังพบว่าการเป็นนิ่วยังมีความสัมพันธ์กับโภชนาการ เช่น การบริโภคผักใบเขียว เช่น ใบชะพลู ผักโขม เป็นต้น ซึ่งมีสารออกซาเลตสูงทำให้มีโอกาสเป็นนิ่วได้ง่าย การรักษาจะขึ้นอยู่กับการวินิจฉัยของแพทย์ว่าจะใช้ยา ผ่าตัด หรือสลายนิ่วโดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง (Ultra sound) อย่างไรก็ตามโรคนี้ยังสามารถป้องกันได้โดยการรับประทานอาหารประเภทโปรตีน เช่น เนื้อสัตว์ นม ไข่ และถั่วต่าง ๆ อาหารเหล่านี้มีรฟอสฟอรัสซึ่งช่วยไม่ให้สารพวออกซาเลตจับตัวเป็นก้อนนี้ไว และควรหลีกเลี่ยงการบริโภคอาหารที่มีออกซาเลตสูง นอกจากนี้การดื่มน้ำสะอาดวันละมาก ๆ อาจทำให้ก้อนนิ่วขนาดเล็กออกมาพร้อมกับน้ำปัสสาวะได้

- โรคไตวาย (Renal failure)

เป็นโรคที่ไตสูญเสียการทำงานหรือไม่สามารถทำงานได้ ของเสียจะถูกสะสมอยู่ในร่างกายไม่สามารถขับถ่ายออกทางน้ำปัสสาวะได้ส่งผลให้เกิดความผิดปกติในการรักษาสมดุลน้ำ แร่ธาตุ และความเป็นกรด-เบส ของสารในร่างกาย โรคไตวายอาจมีสาเหตุมาจากการติดเชื้อที่รุนแรง การสูญเสียเลือดจำนวนมาก หรืออาจเกิดจากการเป็นโรคเบาหวานเป็นเวลานาน สำหรับ

การรักษาอาจทำได้เช่น โดยการควบคุมชนิดและปริมาณของอาหาร การดูแลทั่วไปเพื่อป้องกันการติดเชื้อ การใช้ยา หรือการฟอกเลือดโดยใช้ไตเทียม (Artificial kidney) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ทำหน้าที่แทนไต หรืออาจใช้วิธีการผ่าตัดเปลี่ยนไต ผู้ให้ไตถึงแม้ว่าจะเหลือไตเพียงข้างเดียวก็ยังคงมีชีวิตอยู่ได้หรืออาจรับบริจาคไตจากผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุ ปัญหาจากการผ่าตัดเปลี่ยนไตคือ ร่างกายของผู้ป่วยอาจจะปฏิเสธการรับไตจากผู้อื่นแต่อาจแก้ไขได้จากการรับไตจากบุคคลที่มีความใกล้ชิดกันทางพันธุกรรม หรือหาวิธีป้องกันการไม่รับสิ่งแปลกปลอมของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายโดยการกดระบบภูมิคุ้มกัน เช่น การให้ยากดระบบภูมิคุ้มกันหรือการฉายรังสีพร้อมกับการให้ยากดระบบภูมิคุ้มกัน เป็นต้น

ในปัจจุบันแพทย์สามารถช่วยชีวิตคนที่เป็นโรคไตโดยการใส่ไตเทียมซึ่งสามารถกรองสารและทำให้เลือดบริสุทธิ์ หลักการทำงานของเครื่องไตเทียม คือการนำเลือดของผู้ป่วยจากหลอดเลือดอาร์เตอรีบริเวณแขน ไหลเข้าไปในเครื่องไตเทียม โดยผ่านเข้าไปในท่อที่มีเยื่อเซลโลเฟน เยื่อนี้บางและมีรูเล็ก ๆ สารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจึงผ่านเข้าออกได้ทำให้สารละลายผ่านผนังท่อได้ตลอดเวลาสารละลายนี้มีส่วนประกอบต่าง ๆ คล้ายคลึงกับส่วนประกอบของเลือดคนปกติ ระหว่างที่ไตทำงานนั้นของเสียในเลือดที่มีความเข้มข้นสูงกว่าในสารละลายจะแพร่ผ่านรูเล็ก ๆ ที่เยื่อเซลโลเฟนออกมาในสารละลาย ด้วยวิธีการนี้ของเสียในเลือดจะน้อยลงสู่ระดับปกติ หลังจากนั้นเลือดจะผ่านกลับเข้าสู่ร่างกายของผู้ป่วยทางหลอดเลือดเวนเช่นบริเวณปลายแขน ในปัจจุบันผู้ป่วยสามารถใช้เครื่องไตเทียมได้แม้ว่าจะอยู่ที่บ้านโดยใช้ครั้งละ 3-6 ชั่วโมง สัปดาห์ละ 2-3 ครั้ง แต่ควรระมัดระวังเรื่องการรักษาความสะอาดเพราะอาจทำให้เกิดเชื้อได้ การใช้ไตเทียมในทางการแพทย์จะใช้กับผู้ป่วยที่รอการรักษาหรือรอการผ่าตัดเปลี่ยนไตชั่วคราวระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากการใส่ไตเทียมแต่ละครั้งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก ไตเทียมไม่สามารถทำงานได้เหมือนกับไตธรรมชาติเพราะไตนอกจากจะทำฟอกเลือดแล้ว ยังควบคุมรักษาระดับความดันโลหิต ปริมาณน้ำในร่างกายให้สมดุล และยังสร้างสารที่ช่วยกระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดแดงอีกด้วย ซึ่งไตเทียมทำหน้าที่เหล่านี้ไม่ได้