ระบบขับถ่าย (Excretory System)

กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในร่างกาย นอกจากจะให้สิ่งที่ประโยชน์ต่อร่างกายแล้วยังให้สิ่งที่ไม่เป็นประโยชน์ที่ร่างกายไม่ต้องการ เรียกว่า ของเสีย ของเสียที่เกิดขึ้นในร่างกายมีทั้งที่เป็น ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส บางอย่างเป็นพิษต่อร่างกาย ดังนั้น ร่างกายจึงต้องกำจัดออกสู่ภายนอก การกำจัดของเสียในร่างกายทำได้หลายทาง เช่น ทางไต ทางผิวหนัง ทางปอด ทางลำไส้ใหญ่ เป็นต้น

ของเสีย หมายถึง สารที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolism) ที่เกิดขึ้นภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต ของเสียที่เกิดขึ้นได้แก่ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และยูเรีย นอกจากนี้สารที่มีประโยชน์แต่มีปริมาณมากเกินไปร่างกายก็จะกำจัดออก

เมแทบอลิซึม (Metabolism) หมายถึง กระบวนการหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต การกำจัดของเสียในคนเกิดขึ้นได้หลายทาง เช่น ทางไต ทางผิวหนัง ทางปอด และทางลำไส้ใหญ่

ชนิดของของเสียที่เกิดจากเมแทบอลิซึม

1. ของเสียที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (Nitrogenous wastes) เป็นผลผลิตที่เกิดจากเมแทบอลิซึมของการสลายสารโปรตีนและกรดนิวคลีอิก

แอมโมเนีย (Ammonia ; NH_3)

แอมโมเนียมีความเป็นพิษสูง ถ้ามีความเข้มข้นถึงระดับหนึ่งจะเป็นอันตรายต่อเซลล์มากต้องกำจัดออกนอกร่างกาย โดยจะกำจัดออกในภาพแอมโมเนียไอออน (NH_4^+) ซึ่งแอมโมเนียมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี การกำจัดต้องใช้น้ำปริมาณมาก เป็นของเสียที่พบได้ในสัตว์น้ำทั้งหมดและปลาส่วนใหญ่ นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตบางชนิดสามารถ เปลี่ยนแอมโมเนียให้อยู่ในสภาพที่เป็นพิษน้อยลง เช่น ยูเรีย (Uria) หรือกรดยูริก (Uric acid)

ยูเรีย (Uria)

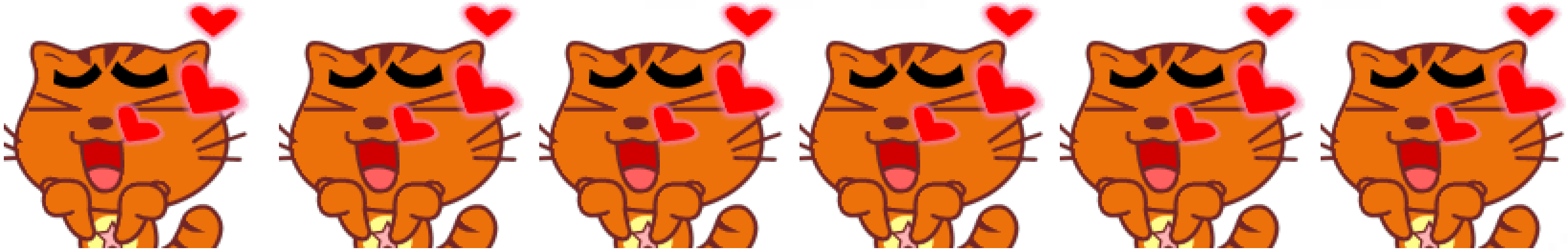
ยูเรียมีความเป็นพิษน้อยกว่าแอมโมเนียและละลายน้ำได้ทำให้ต้องกำจัดอยู่ในภาพของสารละลาย ดังนั้นสามารถละลายอยู่ในเลือดได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์ เป็นของเสียที่ถูกขับออกมาจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ ฉลาม และปลากระดูกแข็งบางชนิด

กรดยูริก (Uric acid)

เป็นของเสียที่ถูก ขับออกมาจากสัตว์พวก แมลง นก สัตว์เลื้อยคลาน และหอยที่อาศัยอยู่บนบก โดยการขับถ่ายออกมาปนกับอุจจาระในลักษณะครึ่งแข็งครึ่งเหลว การกำจัดกรดยูริกออกนอกร่างกายเป็นกระบวนการที่สูญเสียน้ำน้อยที่สุด เนื่องจากกรดยูริกเป็นสารที่ละลายน้ำได้น้อยและก่อนการกำจัดออกร่างกายสามารถดูดน้ำที่ปะปนมากลับคืนได้เกือบหมด

2. แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

3. ไฮโดรเจน (Hydrogen) เกลือแร่ (Mineral) และ น้ำ (H_2O) ที่มากเกินความต้องการ



ประโยชน์ของการขับถ่าย

- รักษาสมดุลของน้ำในร่างกาย

- รักษาระดับของอุณหภูมิของร่ายกายให้คงที่

- รักษาสมดุลของกรด-เบสในร่างกาย

- รักษาสมดุลของแร่ธาตุ

- ขับถ่ายสารพิษและยาต่าง ๆ ที่อยู่ในกระแสเลือด

การขับถ่ายของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวและสัตว์

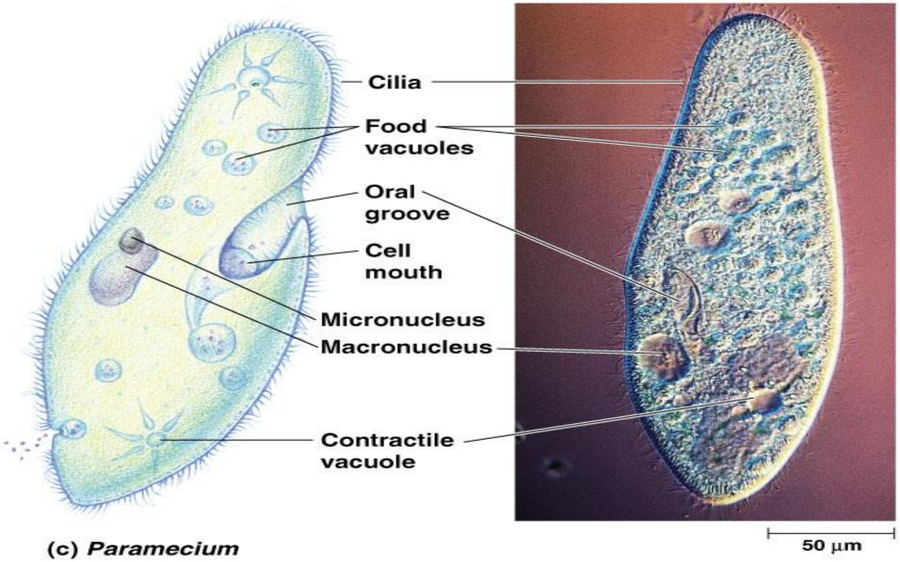
โพรทิสต์ เช่น อะมีบา พารามีเซียม ยูกลีนา

อาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เป็นน้ำ

ไม่มีออร์แกนเนลล์ที่ทำหน้าที่ขับถ่ายโดยเฉพาะ

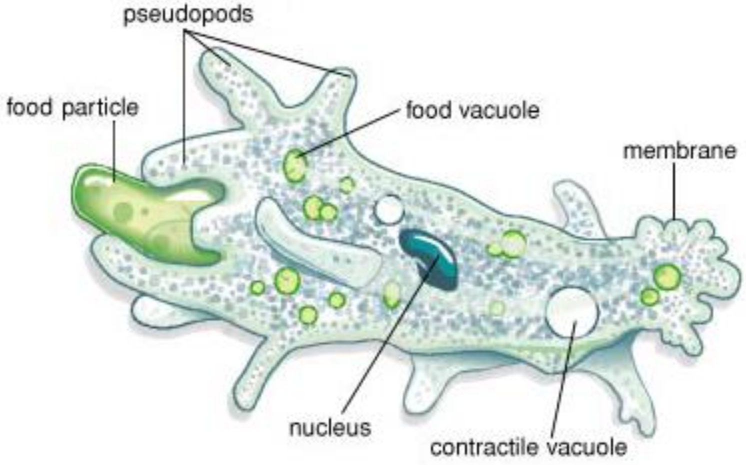
ของเสียที่เกิดจากเมแทบอลิซึมที่สำคัญ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์และแอมโมเนีย

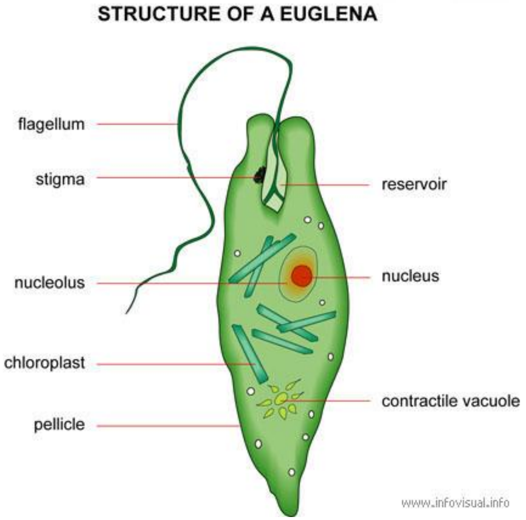
เสียถูกกำจัดด้วยวิธีการแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ออกสู่สิ่งแวดล้อม



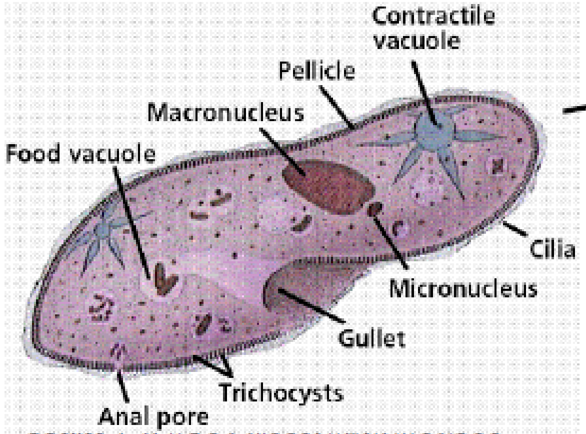
(c) *Paramecium*

Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

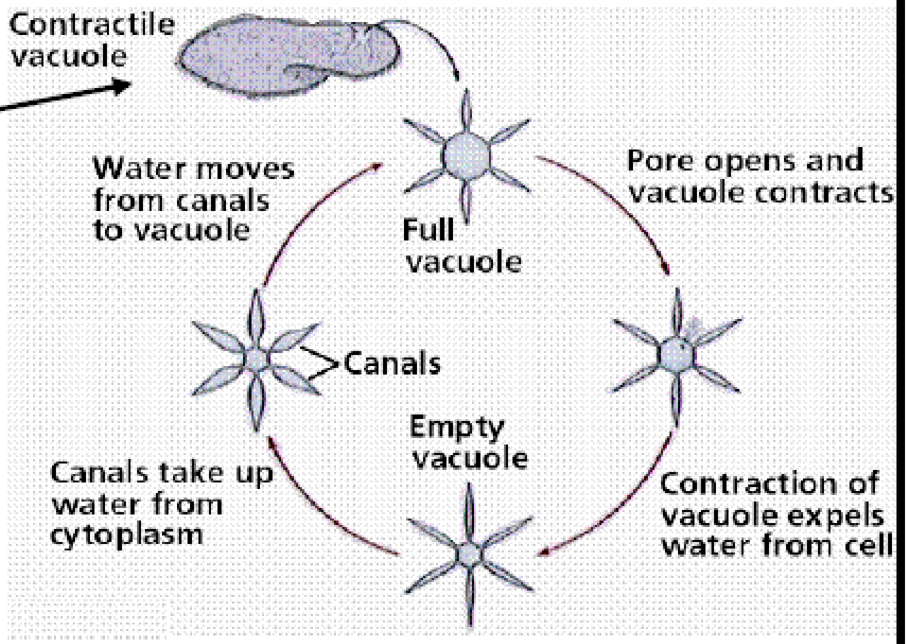




คอนแทร็กไทล์แวคิวโอล (contractile vacuole)



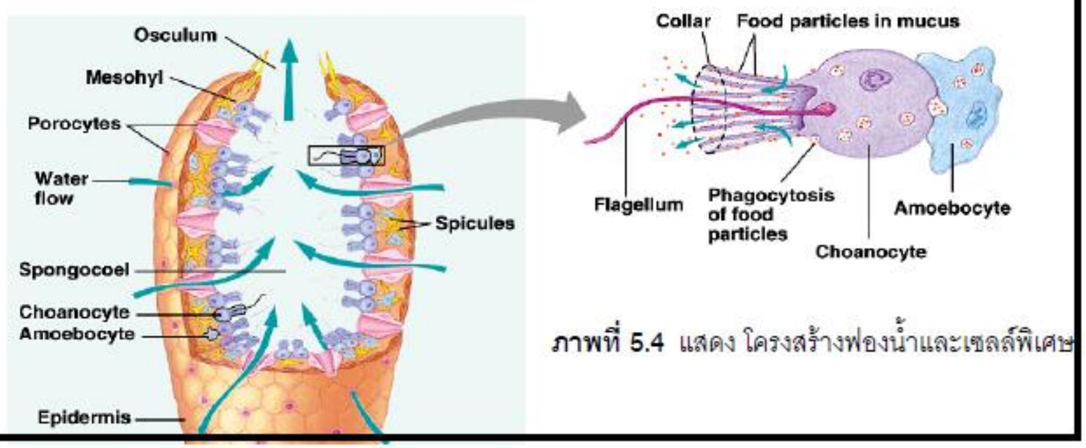
ภาพที่ 6.3 แสดง พารามีเซียมและการ
เปลี่ยนแปลงของคอนแทร็กไทล์แวคิวโอล



การขับถ่ายของสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (Invertebrate excretion)

ฟองน้ำ (sponges)

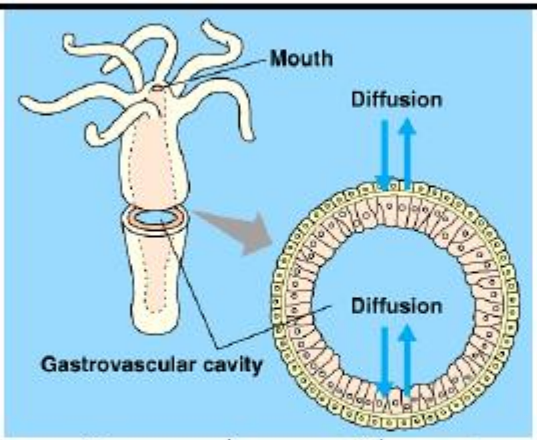
ไม่มีอวัยวะในการขับถ่ายของเสีย แต่ละเซลล์สัมผัสกับน้ำโดยตรง ของเสียพวกแอมโมเนียและแก๊สจะใช้วิธีการแพร่ (Diffusion) ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) ออกสู่สภาพแวดล้อม



ภาพที่ 5.4 แสดง โครงสร้างฟองน้ำและเซลล์พิเศษ

ฟองน้ำ (sponges)

ไม่มีอวัยวะในการขับถ่าย แต่กำจัดแก๊สและของเสียพวกแอมโมเนียโดยวิธีการแพร่ (Diffusion)
ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) ของแต่ละเซลล์



ภาพที่ 5.5 แสดง ลักษณะของไฮดราและวิธีการแพร่ (Diffusion) ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) เพื่อกำจัดของเสีย

การขับถ่ายของหนอนตัวแบน (Flat worms)

พยาธิใบไม้ พยาธิตัวตืด พลานาเรีย

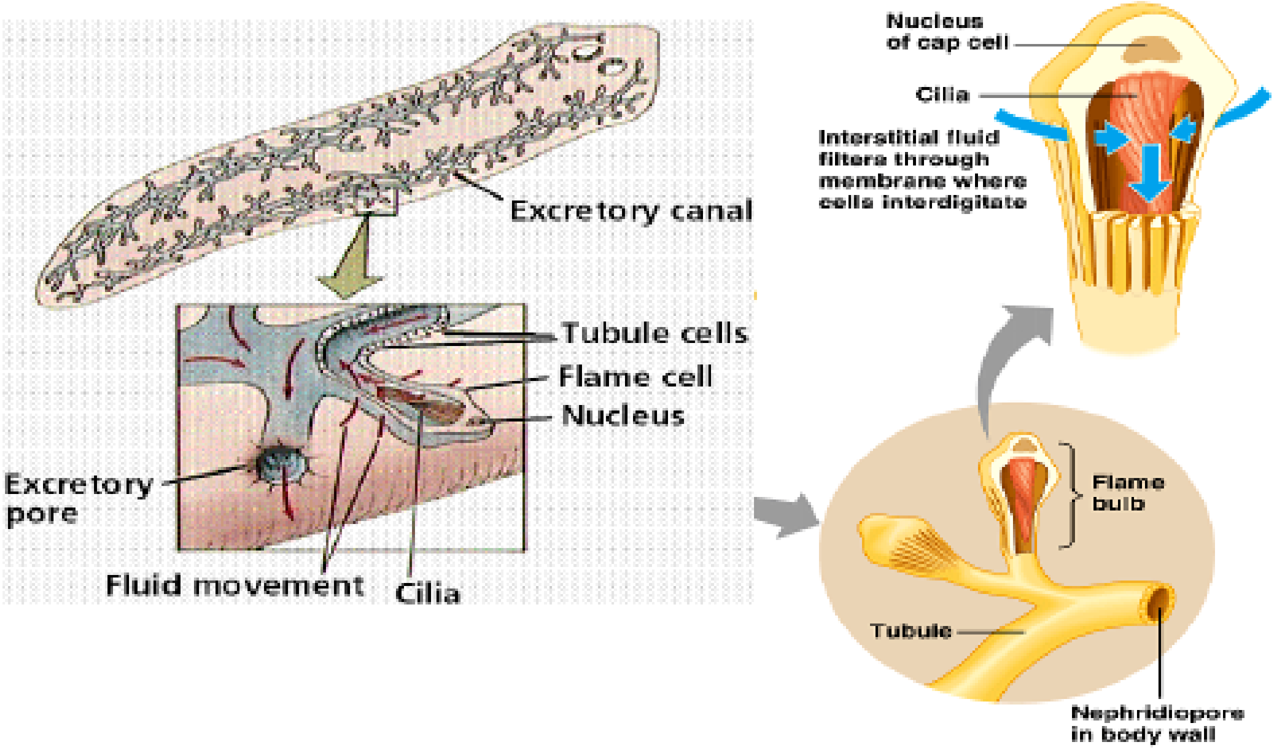
โครงสร้างที่ทำหน้าที่กำจัดของเสียคือ เฟลเซลล์ (flame cell) ซึ่งกระจายอยู่ทั้งสองข้างตัวตลอดความยาวของลำตัว ตัวอย่างเช่นพลานาเรีย

พลานาเรีย

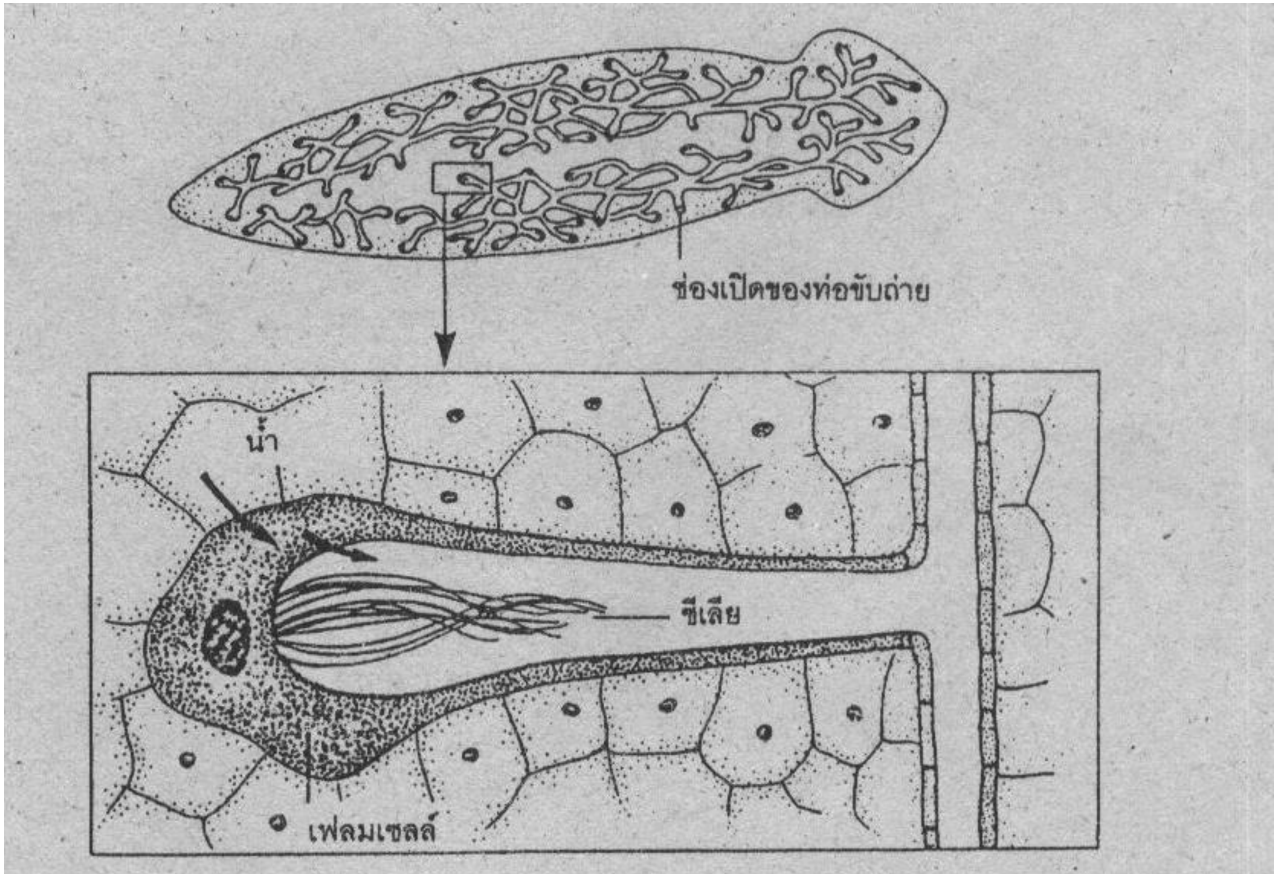
อาศัยอยู่ในน้ำ มีระบบขับถ่ายที่ประกอบด้วยท่อขับถ่าย (excretory duct) แต่ละท่อจะแตกแขนงเป็นท่อย่อย (excretory tubule) แทรกไปตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ ทั่วร่างกาย และตรงปลายท่อย่อยเป็นที่อยู่ของเฟลมเซลล์ (flame cell) ซึ่งจะกระจายอยู่ทั้งสองข้างตลอดความยาวของลำตัว

เฟลมเซลล์มีลักษณะเป็นเป้าเล็ก ๆ ภายในเป็นโพรง มีขนเล็ก ๆ ที่เรียกว่า ซิเลีย (cilia) ทำหน้าที่โบกพัดน้ำและของเสียจากเฟลมเซลล์ให้ออกมาสู่ท่อรับของเหลว (โพรงภายในเซลล์) และออกนอกร่างกายทางช่องขับถ่ายเล็ก ๆ (excretory pore) ที่ผนังลำตัว

ของเสียพวกแอมโมเนียยังกำจัดออกโดยการแพร่ทางผิวหนังสู่สิ่งแวดล้อมที่เป็นน้ำ



ภาพที่ 5.6 แสดงส่วนประกอบของเฟลมเซลล์และระบบท่อขับถ่ายของพลานาเรีย



ระบบขับถ่ายของพลานาเรียประกอบด้วยเฟลมเซลล์ ท่อขับถ่าย และช่องเปิดของท่อขับถ่าย

การขับถ่ายของ แอนนาลิดา (Annelida)

ไส้เดือนดิน

เป็นสัตว์ที่มีลำตัวแบ่งเป็นข้อปล้อง แต่ละปล้องจะมีอวัยวะขับถ่ายที่ เรียกว่า เนฟริเดียม (Nephridium) หรือเมตาเนฟริเดียม (Metanephridium) มีอยู่ปล้องละ 1 คู่ ลักษณะเป็นท่อขดไปมา มีปลายเปิดสองข้างทำงานเป็นอิสระแก่กัน

ของเสียได้แก่ แอมโมเนีย ยูเรีย

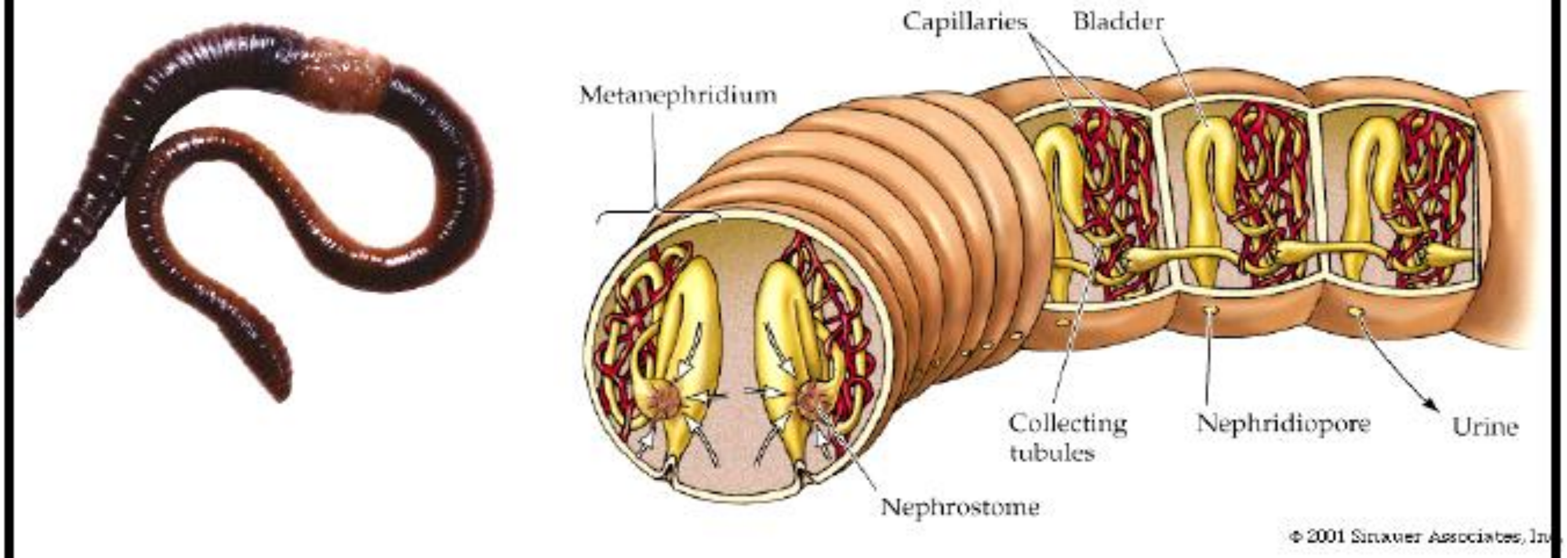
เนฟริเดียมประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

- ส่วนที่เป็นกรวยรับของเหลวจากช่องลำตัวที่มีของเสียอยู่ ซึ่งมีลักษณะเหมือนปากแตรภายในมีซิเลียล้อมรอบเรียกว่า เนโฟรสโตม (Nephrostome) ส่วนนี้จะอยู่ช่องลำตัว

- ส่วนที่เป็นท่อยาว (Nephridial tubule) ขดไปมามีเส้นเลือดพันรอบท่อนี้ เพื่อดูดน้ำและของเหลวที่มีประโยชน์กลับนำไปใช้ประโยชน์อีกครั้ง ตอนปลายของท่อจะพองขยายตัวออกเป็นที่พักของเหลว เรียกว่า ถุง (Bladder)

- ส่วนช่องเปิดของเนฟริเดียม เรียกว่า เนฟริดิโอพอร์ (Nephridiopore) เป็นปลายของท่อเปิดออกสู่ภายนอกทางผิวหนัง

เนฟริเดียมจะทำหน้าที่ขับถ่ายของเสียพวกแอมโมเนียและยูเรีย ส่วนน้ำและแร่ธาตุบางชนิดที่มีประโยชน์จะดูดกลับเข้าสู่กระแสเลือด เนฟริเดียมจึงทำหน้าที่ทั้งกรองและดูดสารกลับ ซึ่งลักษณะการทำงานของเนฟริเดียมจะคล้ายคลึงกับหน่วยไตของสัตว์มีกระดูกสันหลัง



ภาพที่ 5.7 แสดงลักษณะโครงสร้างเนฟริเดียมของไส้เดือนดิน

การขับถ่ายของ อาร์โทรพอด (Artropod)

แมลง ปู กุ้ง กั้ง

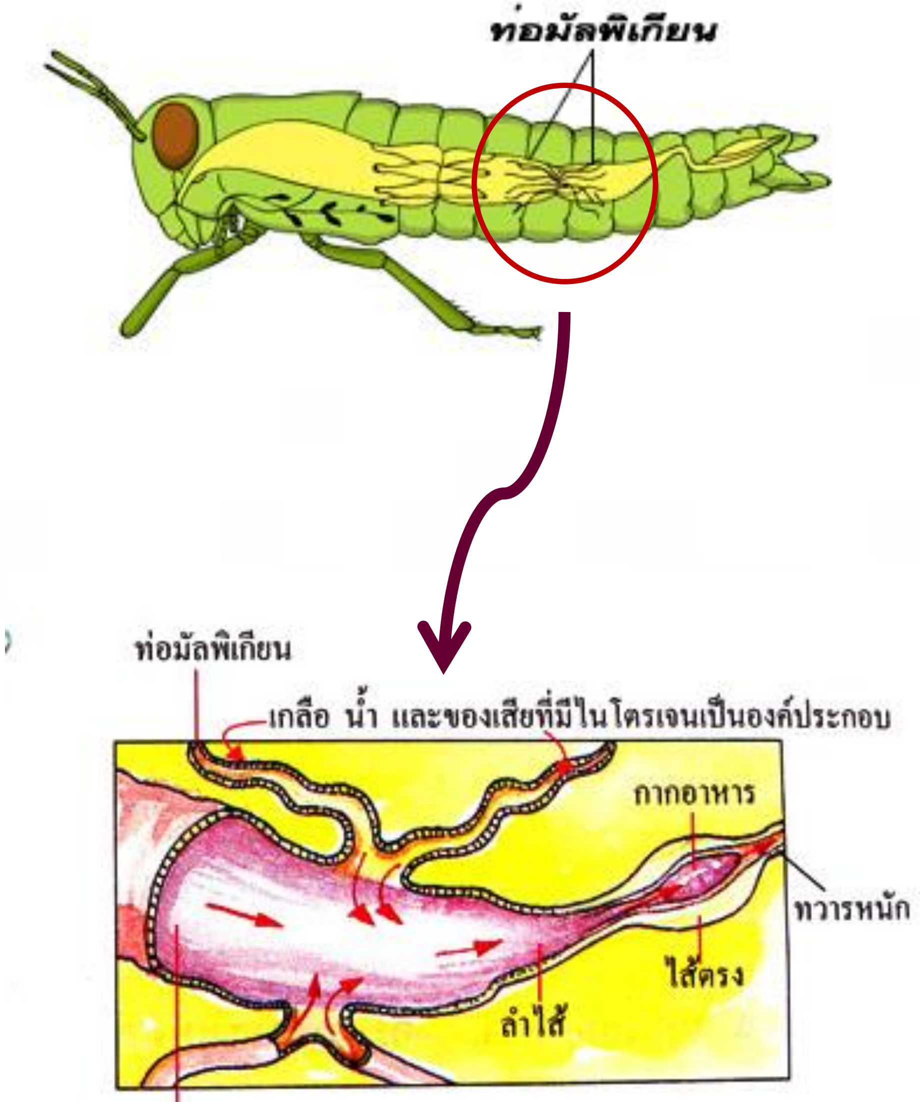
เป็นสัตว์ที่มีเปลือกแข็งป้องกันการผ่านเข้าและออกของน้ำได้ อาร์โทรพอดที่อยู่บนบก เช่น พวกแมลง มีอวัยวะขับถ่ายของเสีย เรียกว่า ท่อมัลพิเกียน (malpighian tuble) ซึ่งเป็นอวัยะขับถ่ายของเสีย ที่มีกลุ่มเซลล์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดกลับของน้ำ ทำ ให้ของเสียมีสภาพค่อนข้างแข็ง คือ กรดยูริก ซึ่งไม่ละลายน้ำ

ท่อมัลพิเกียน (Mulpighian tubule)

ท่อเล็ก ๆ ที่แทรกอยู่ในลำตัว โดยมีลักษณะคล้ายถุงยื่นออกมาจากทางเดินอาหารตรงบริเวณรอยต่อของทางเดินอาหารส่วนกลางและท้าย

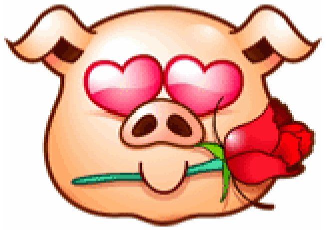
ปลายของท่อมัลพิเกียนจะลอยเป็นอิสระอยู่ในช่องของลำตัว ในของเหลวจะมีของเสีย น้ำ และสารต่าง ๆ ซึ่งจะถูกลำเลียงเข้าสู่ท่อมัลพิเกียนและผ่านไปตามทางเดินอาหาร

ขณะเดียวกันจะมีกลุ่มเซลล์บางกลุ่มที่บริเวณทางเดินอาหารส่วนไส้ตรงทำหน้าที่ดูดน้ำและสารที่มีประโยชน์กลับเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด ส่วนของเสียพวกสารประกอบไนโตรเจนจะเปลี่ยนเป็นผลึกกรดยูริกขับออกมาพร้อมกับกากอาหาร


ท่อมัลพิเกียน
ท่อมัลพิเกียน
เกลือ น้ำ และของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ
กากอาหาร
ทวารหนัก
ไส้ตรง
ลำไส้
ทางเดินอาหารส่วนกลาง
ข.

กุ้ง

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



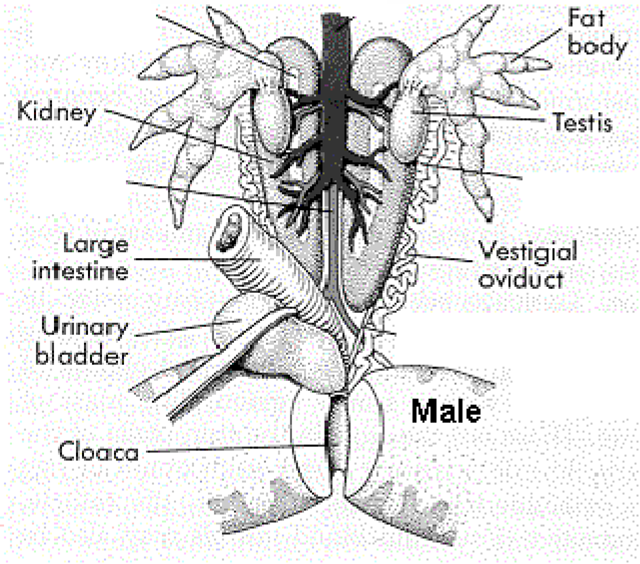
การขับถ่ายของสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง (Vertebrate excretion)

ปลา

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

สัตว์สะเทินน้ำและสะเทินบก (Amphibian)

กบ



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

สัตว์เลื้อยคลานและสัตว์ปีก

อวัยวะขับถ่ายมีไต (Kidney) 1 คู่ น้ำปัสสาวะผ่านท่อไต (Urinary duct หรือ Ureter) เข้าสู่โคลเอกาแล้วไปสะสมที่กระเพาะปัสสาวะ (Urinary bladder)และสุดท้ายจะขับถ่ายออกทางช่องเปิดของโคลเอกา (Cloaca opening)

อวัยวะขับถ่ายสามารถเปลี่ยนของเสียประเภทแอมโมเนียให้กลายเป็นกรดยูริก (Uric acid) ซึ่งไม่เป็นพิษ โดยกรดยูริกจะละลายน้ำได้น้อยมากและตกตะกอนในน้ำ ดังนั้นน้ำปัสสาวะของสัตว์พวกนี้จะอยู่ในลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Semisolid) กรดยูริกที่มายังโคลเอกาจะตกตะกอนเป็นผลึกสีขาวรวมตัวกับอุจจาระ

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
- ถึงแม้ว่าไตของคนจะดูดน้ำกลับคืนได้มากสุด แต่ในวันหนึ่ง ๆ คนเราต้องถ่ายปัสสาวะเพื่อกำจัดยูเรีย
- ไตของหนูทะเลทรายบางชนิด เช่น หนูทะเลทราย (kangaroo rat) สามารถขับถ่ายยูเรียที่มีความเข้มข้นมากกว่าเลือดได้ถึง 17 เท่า

การขับถ่ายของมนุษย์

สัตว์มีกระดูกสันหลังและคนมีอวัยวะขับถ่ายของเสียคือ ไต (kidney)

ลักษณะโครงสร้างภายนอกของไต

- มีอยู่ 1 คู่ อยู่ในช่องท้องทั้งสองข้างของกระดูกสันหลังระดับเอว ไตข้างขวาจะอยู่ต่ำกว่าข้างซ้ายเล็กน้อย

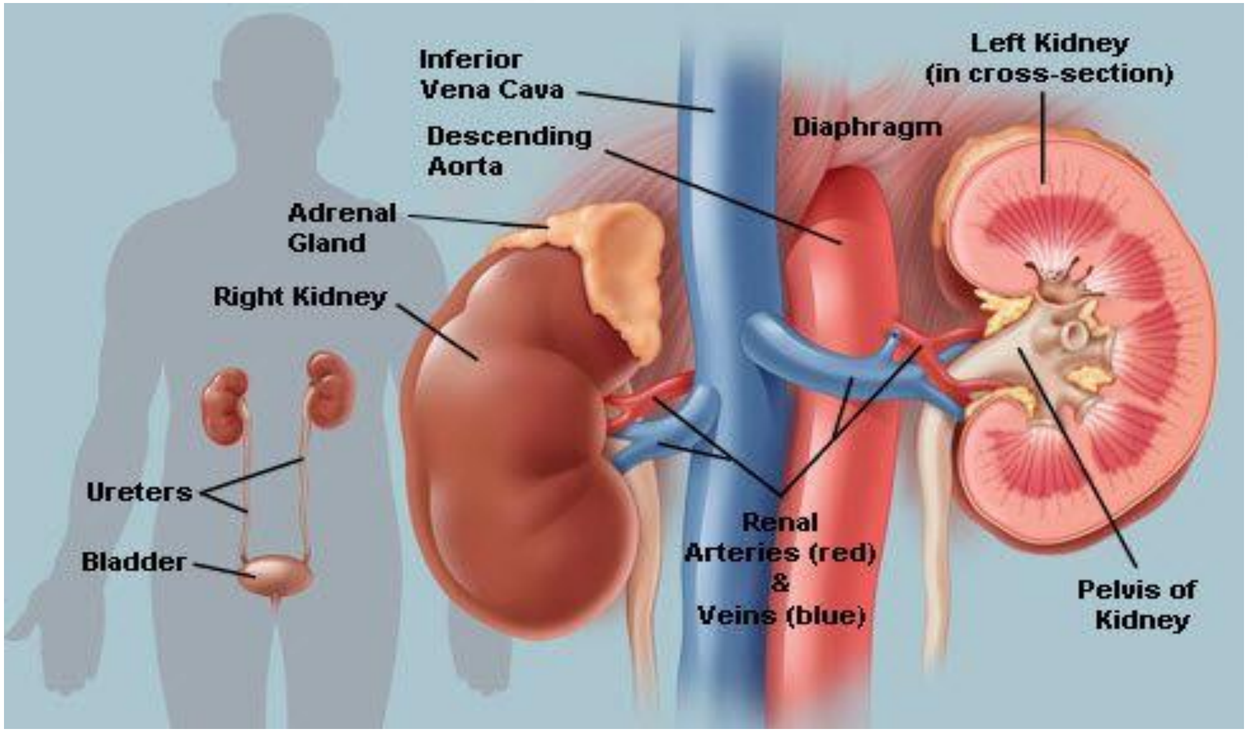
- มีขนาดความยาวประมาณ 10 - 12 เซนติเมตร กว้าง 6 เซนติเมตร และหนา 3 ซม. และไตแต่ละข้างหนักประมาณ 150 กรัม

https://www.popsci.com/national-panel-to-take-scrutinizing-look-at-kidney-donation/

- ด้านหนึ่งของไตจะมีรอยเว้าเข้า ซึ่งจะเป็นส่วนของ

- ทางเข้าของเส้นเลือดแดงที่เรียกว่า รีนัลอาร์เตอรี (renal artery) ซึ่งแยกมาจากเส้นเลือดเอออร์ตา (aorta)

- ทางออกของเส้นเลือดดำ ที่เรียกว่า รีนัลเวน (renal vein) นำเลือดดำออกจากไตเข้าสู่เส้นเลือดดำใหญ่ (inferior vena cava) ต่อไป



https://www.pinterest.com/pin/403283341612116670/

- ทางออกของท่อไต (ureter) นำปัสสาวะไปเก็บไว้ที่กระเพาะปัสสาวะ

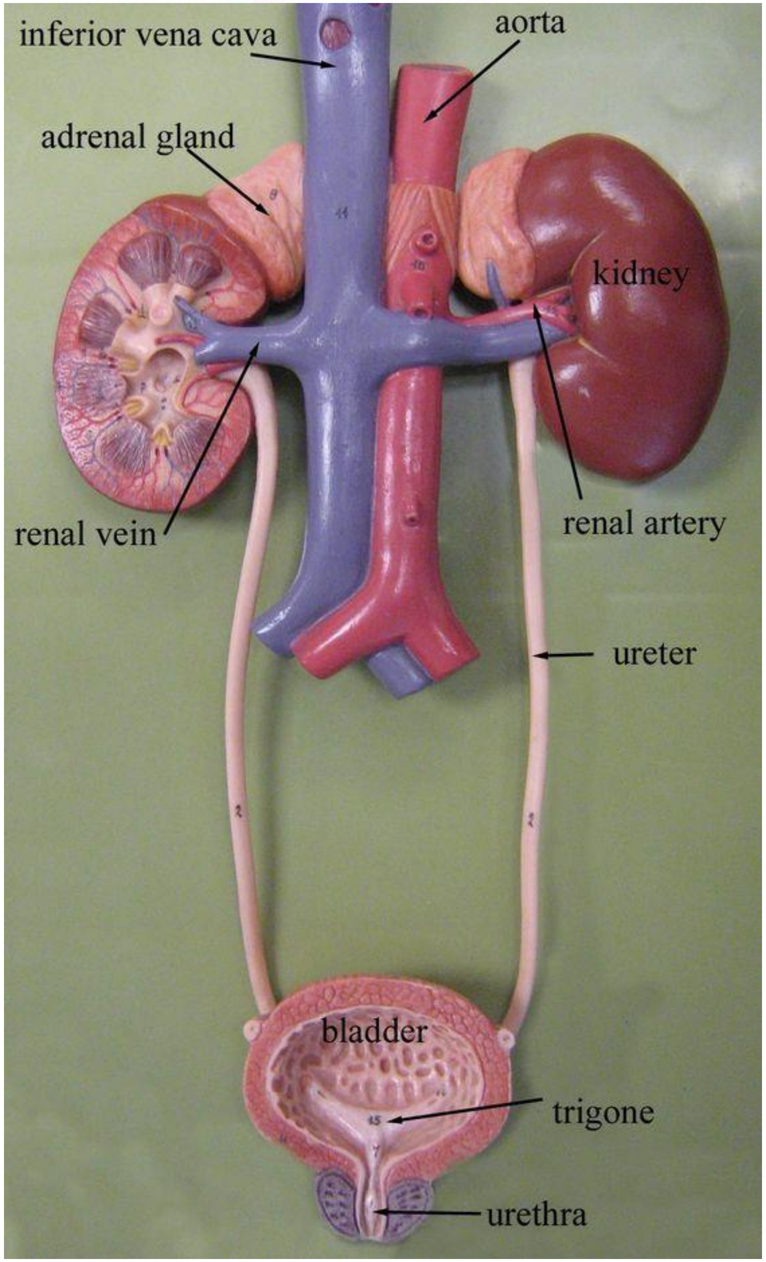
- โครงสร้างที่ต่อจากตัวไต (kidney) ประกอบด้วย

1. กรวยไต (pelvis)

2. ท่อไต (ureter)

3. กระเพาะปัสสาวะ (urinary bladder)

4. ท่อปัสสาวะ (urethra)



https://www.pinterest.com/pin/300896818838493674/

ลักษณะโครงสร้างภายในของไต

เมื่อผ่าตัดไตตามยาวจะพบส่วนของเนื้อไตและกรวยไต

- เนื้อไตเป็นเนื้อเยื่อ 2 ชั้น ชั้นนอกเป็นชั้นคอร์เทกซ์ (cortex) ถัดเข้าไปเป็นชั้นเมดัลลา (medulla) ส่วนของเมดัลลาที่เรียกว่า พาพิลลา (papilla) ยื่นเข้าไปจรดกับส่วนที่เป็นโพรง ที่เรียกว่า กรวยไต (pelvis)

เนื้อเยื่อ 2 ชั้น ของไต ได้แก่

1. ชั้นคอร์เทกซ์ (cortex) เป็นเนื้อไตที่อยู่ด้านนอกมีลักษณะเป็นจุดสีแดงกระจายอยู่มากมาย แต่ละจุดก็คือ *หน่วยไต* ที่ทำหน้าที่ในการกรอง ซึ่งประกอบด้วย

1.1 โบว์แมนส์แคปซูล (Bowman's capsule) มีลักษณะเป็นกระเปาะ

1.2 โกลเมอรูลัส (glomerulus) เป็นกลุ่มเส้นเลือดฝอย

1.3 ท่อขดส่วนต้น (proximal convoluted tubule) เป็นท่อของหน่วยไตส่วนต้น

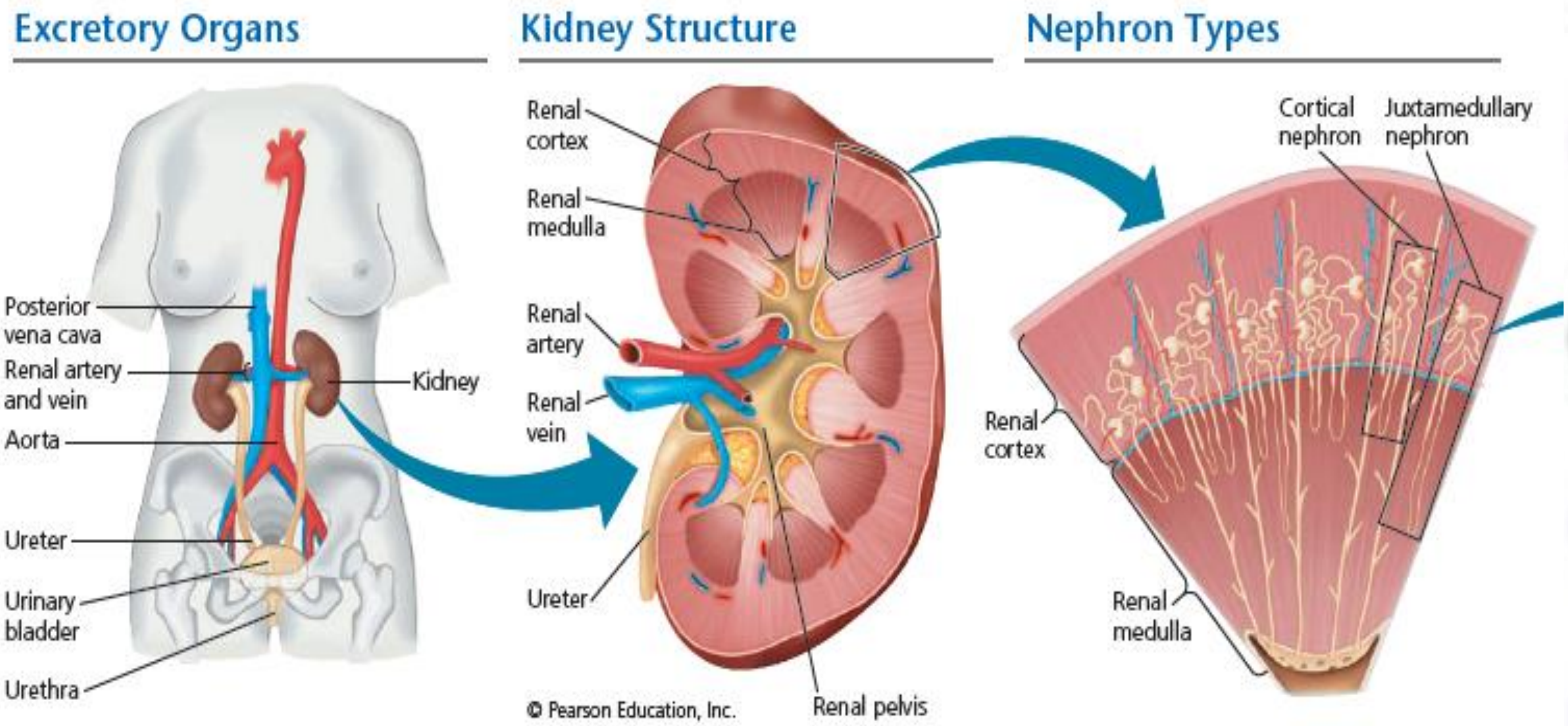
1.4 ท่อขดส่วนท้าย (distal convoluted tubule) เป็นท่อของหน่วยไตส่วนปลาย

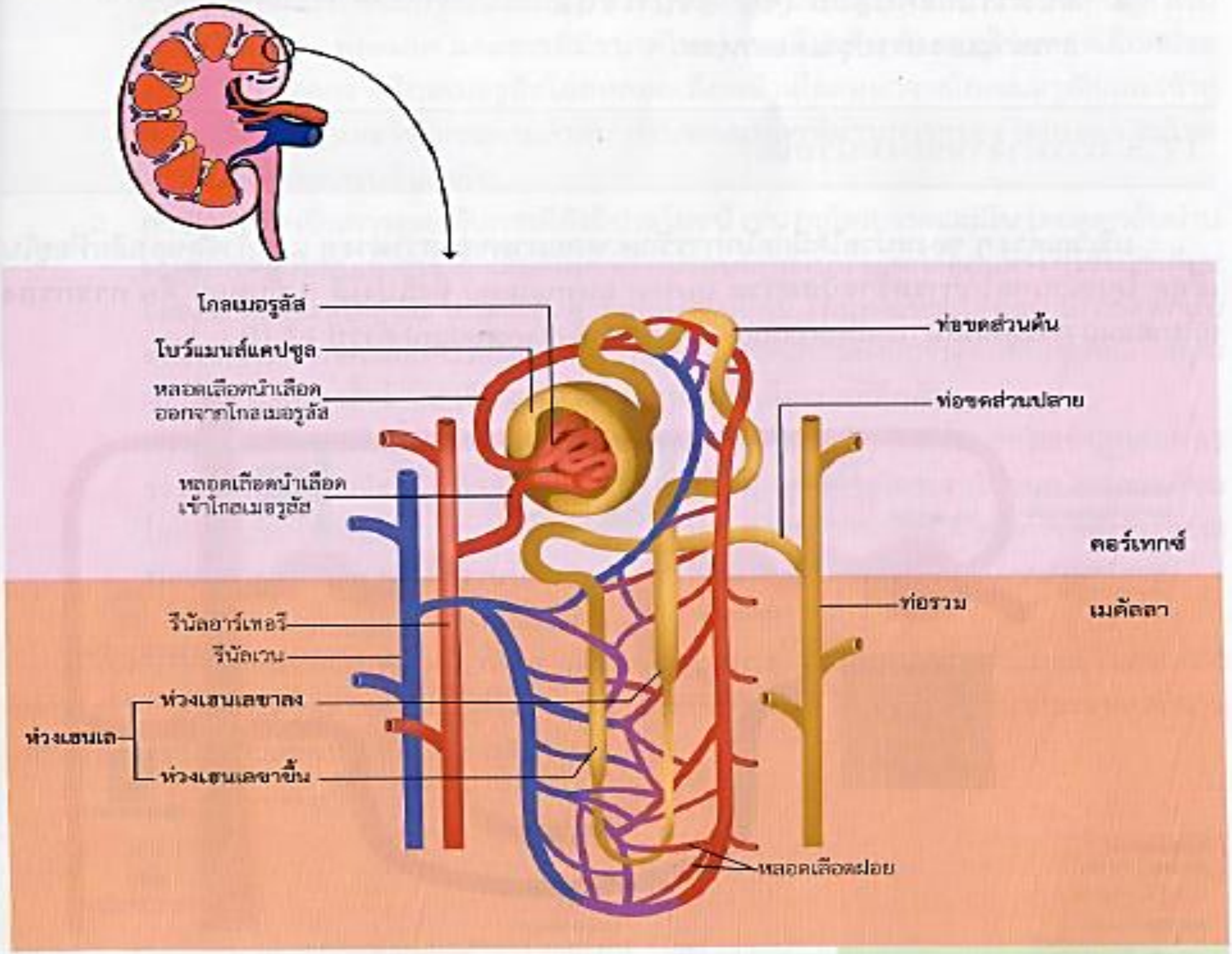
2. ชั้นเมดัลลา (medulla) เป็นเนื้อไตส่วนในมีสีจางกว่าเนื้อไตส่วนนอก มีลักษณะเป็นเส้นหรือท่อเรียงตัวเป็นเนื้อเยื่อรูปร่างคล้ายพีระมิด ซึ่งเป็นส่วนของหน่วยไตที่ประกอบด้วย

2.1 ห่วงเฮนเล (loop of Henle) เป็นส่วนของท่อของหน่วยไตที่ต่อจากท่อขดส่วนต้น

2.2 ท่อรวม (collecting tubule) เป็นส่วนปลายของท่อของหน่วยไตที่มาเปิดร่วมกันก่อนออกสู่กรวยไต

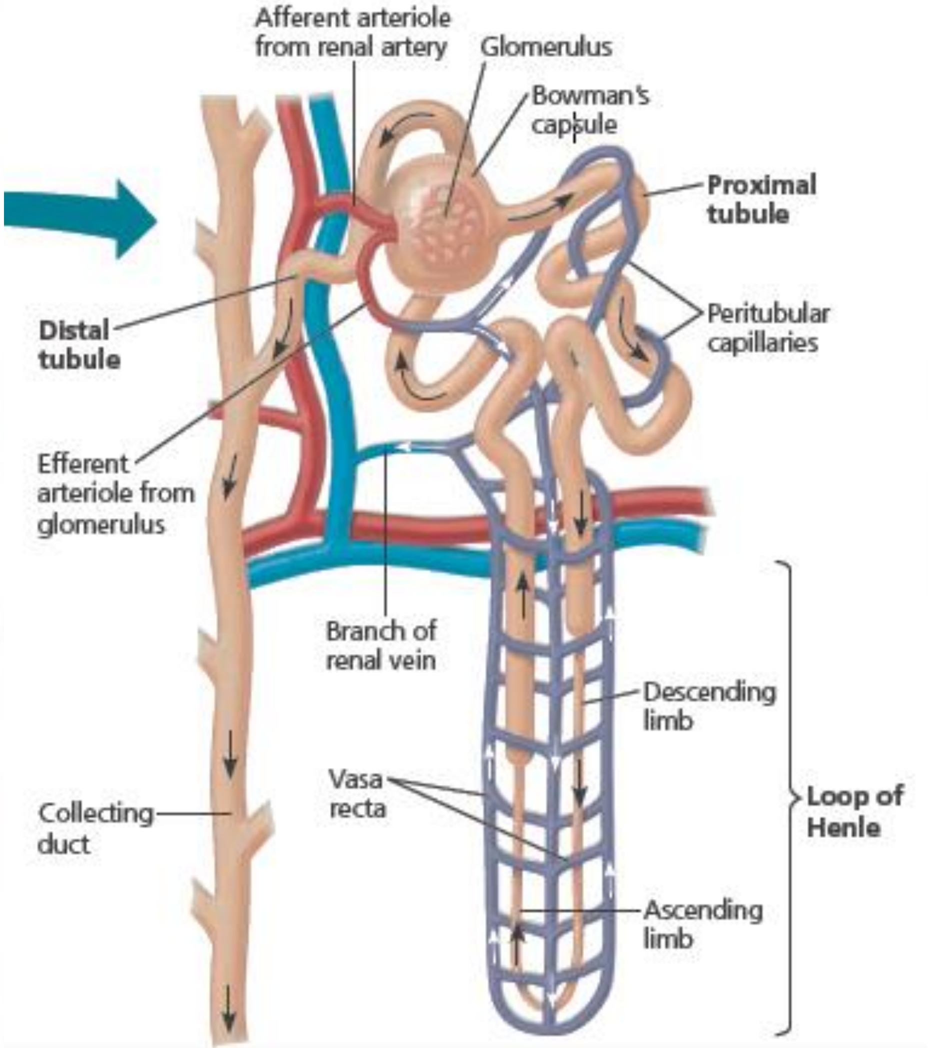
กรวยไต **เป็นส่วนที่อยู่ตรงส่วนรอยเว้าของไตโดยเป็นที่รวมของน้ำปัสสาวะที่มาจากเคลิกซ์ (calyx) ซึ่งเป็นที่รองรับปัสสาวะที่ไหลออกจากท่อรวม**


Excretory Organs
Kidney Structure
Nephron Types
Posterior vena cava
Renal artery and vein
Kidney
Aorta
Ureter
Urinary bladder
Urethra
Renal cortex
Renal medulla
Renal artery
Renal vein
Ureter
Renal pelvis
© Pearson Education, Inc.
Cortical nephron
Juxtamedullary nephron
Renal cortex
Renal medulla

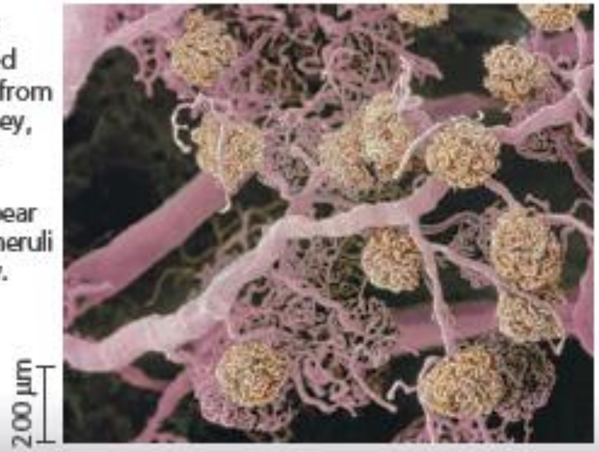


รูป 17.9 โครงสร้างหน่วยไต

Nephron Organization



► In this SEM of densely packed blood vessels from a human kidney, arterioles and peritubular capillaries appear pink; the glomeruli appear yellow.



หน่วยไต (nephron)

จะทำหน้าที่ในการสร้างน้ำปัสสาวะ (Urine formation) ประกอบด้วยกระบวนการที่สำคัญ 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. การกรองสารที่โกลเมอรูลัส (Glomerular filtration / Ultrafiltration)

2. การดูดสารกลับที่ท่อหน่วยไต (Tubular reabsorption)

3. การหลั่งสารโดยท่อหน่วยไต (Tubular Secretion)

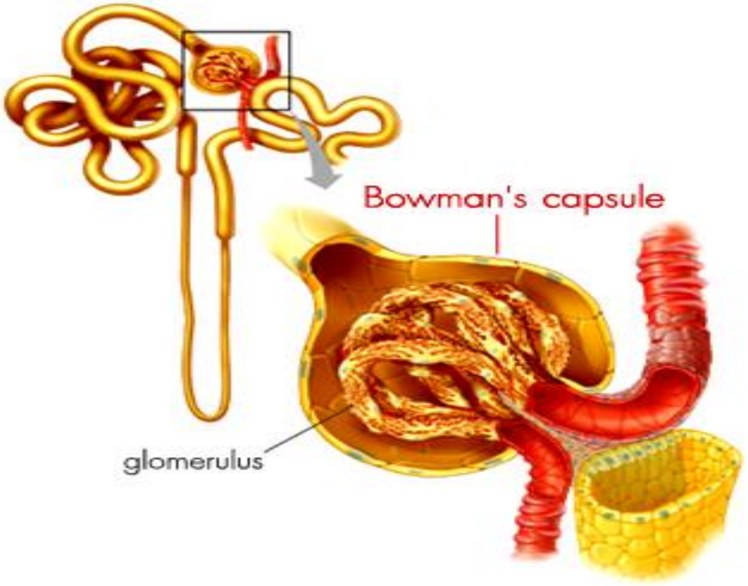
1. โบว์แมนส์แคปซูล (Bowman’s capsule)

- มีลักษณะเป็นกระเปาะ

- ผนังประกอบด้วยเยื่อบาง ๆ สองชั้น ระหว่างเยื่อทั้งสองชั้นมีช่องว่าง (intracapsular space) ติดต่อกับส่วนที่เป็นท่อของหน่วยไต (ท่อขดส่วนต้น) เพื่อนำของเสียที่กรองได้เข้าสู่ช่องว่างภายในท่อขดลวดต้น

- ภายในจะมีกลุ่มเส้นเลือดฝอยที่เรียกว่า โกลเมอรูลัส

2. โกลเมอรูลัส (glomerulus)



- กลุ่มของเส้นเลือดฝอยที่มาพันกันเป็นรูปทรงกลมภายในโบว์แมนส์แคปซูล

- ผนังของกลุ่มเส้นเลือดฝอยที่นำเลือดเข้าสู่โกเมอรูลัส จะแนบชิดกับเยื่อชั้นในของโบว์แมนส์แคปซูล

-ทำหน้าที่กรองน้ำและสารบางชนิดออกจากพลาสมาเข้ามาในท่อหน่วยไตและรับสารต่าง ๆ ที่ท่อของหน่วยไตดูดกลับเข้าสู่ร่างกาย

3. ท่อของหน่วยไต (convoluted tubule) เป็นท่อที่ต่อออกมาจากโบว์แมนส์แคปซูล แบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. ท่อส่วนต้น (Proximal tubule)

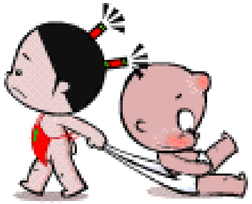
อยู่ต่อ โบว์แมนส์แคบซูล (Bowman's capsule) เป็นท่อขดไปมาชั้นคอร์เทกซ์ (Cortex)

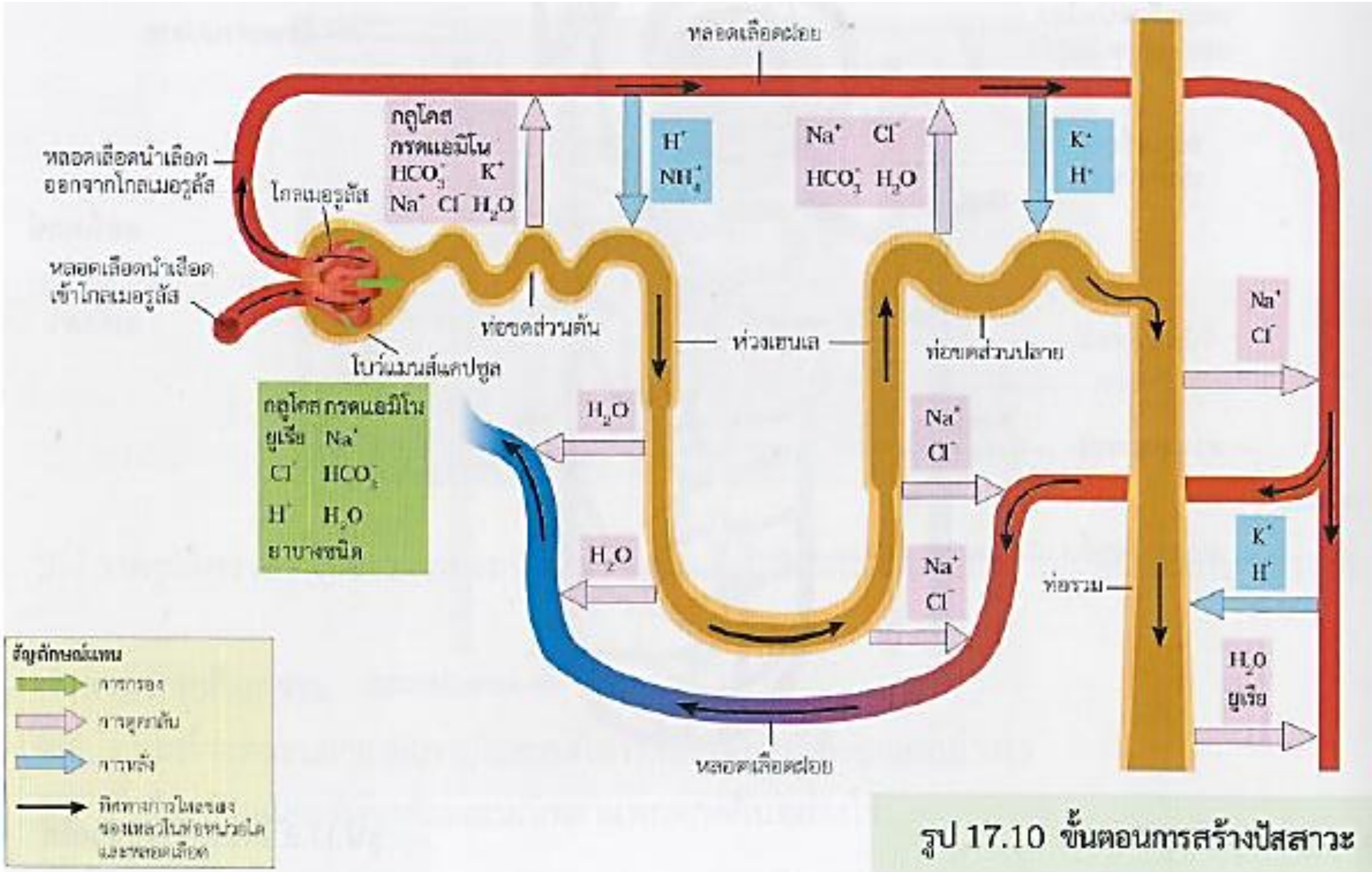
2. ท่อหน่วยไตภาพตัวยู หรือห่วงเฮนเล (U-shape / Henle's loop)

มีลักษณะเป็นรูปตัวยูยื่นเข้าไปในชั้นเมดัลลา (Medulla)แล้ววกย้อนกลับมาต่อกับท่อขดส่วนท้ายในชั้นคอร์เทกซ์

3. ท่อขดส่วนท้าย (distal convoluted tubule)

เป็นท่อของหน่วยไตส่วนสุดท้าย มีลักษณะขดไปมาอยู่บริเวณชั้นคอร์เทกซ์ และเป็นส่วนที่อยู่ต่อจากห่วงเฮนเล





รูป 17.10 ขั้นตอนการสร้างปัสสาวะ

การกรองสารที่โกลเมอรูลัส

เลือด 1200 ml → ไต → หลอดเลือดฝอยที่โกลเมอรูลัส

↓

Glomerular Filtrate หรือ Ultrafiltrate

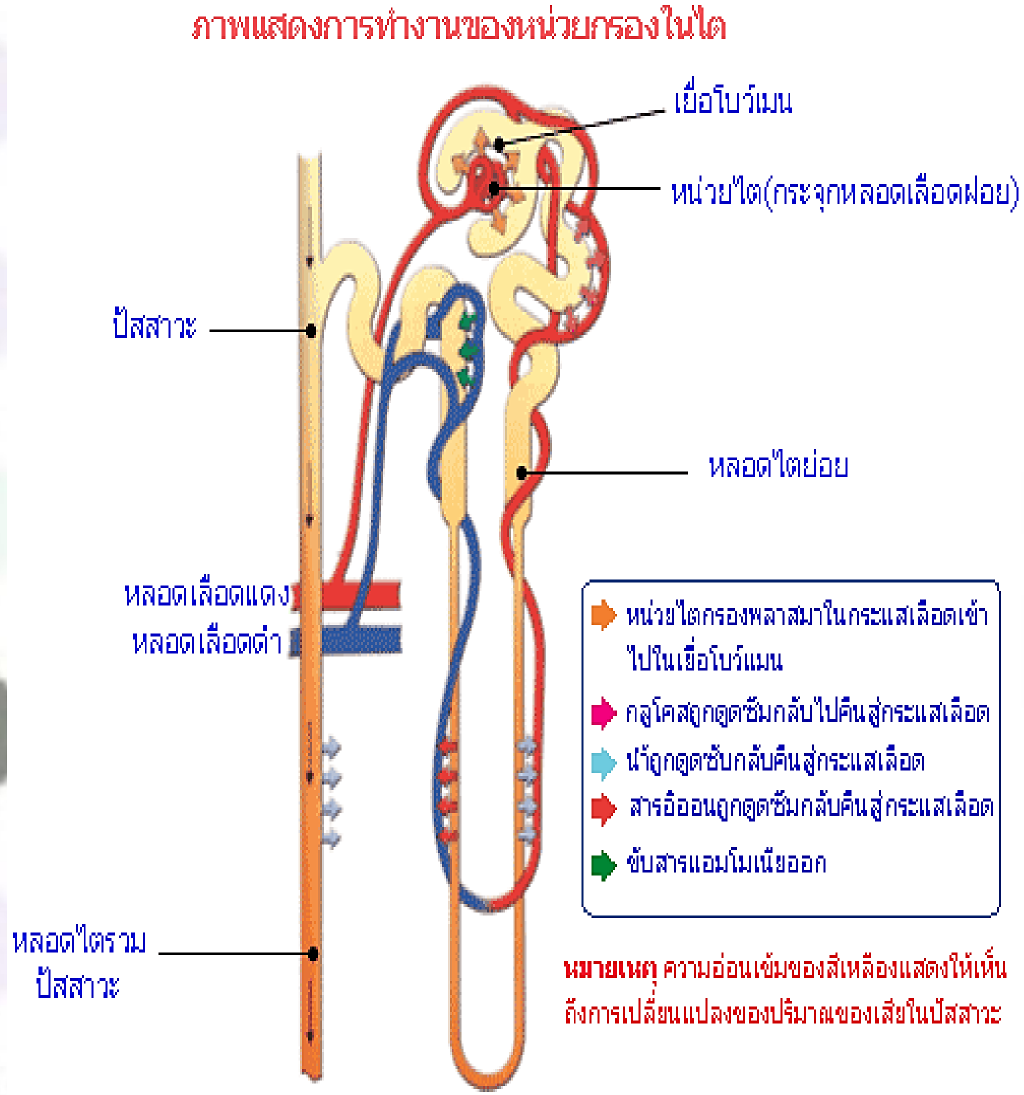
น้ำ ยูเรีย กลูโคส โซเดียมคลอไรด์ เกลือแร่

125 ml

← โบว์แมนส์แคปซูล

← ส่วนต่าง ๆ ของท่อหน่วยไต

พลาสมาจะถูกกรองประมาณวันละ 180 ลิตร เป็นปัสสาวะเพียง 1.5-2 ลิตร ซึ่งเป็นของเสียส่วนน้อยเพียง 1 % ที่ถูกขับออกมาและของเหลวที่มีประโยชน์ส่วนมากอีก 99 %จะถูกดูดกลับหมด



แรงดันในการกรอง = ความดันเลือดในหลอดเลือดฝอย glomerulus

(ความดัน hydrostatic +

ความดัน osmosis)

ตารางแสดงการกรองและดูดกลับสารต่างๆ ของไต

สาร	สารที่กรองได้	% การดูดกลับของสาร
น้ำ	180 ลิตร	99
กลูโคส	180 กรัม	100
โซเดียม	630 กรัม	99.5
ยูเรีย	54 กรัม	44

ตารางเปรียบเทียบสารในของเหลวที่กรองผ่านโกลเมอรูลัสได้กับน้ำปัสสาวะ

สาร	ของเหลวที่กรองได้ ($g/100\ cm^3$)	น้ำปัสสาวะ ($g/100\ cm^3$)
น้ำ	90 – 93	95
โปรตีน	0.01 – 0.02	0
ยูเรีย	0.03	2
กรดยูริก	0.003	0.05
แอมโมเนีย	0.0001	0.05
กลูโคส	0.1	0
โซเดียม	0.32	0.6
คลอไรด์	0.37	0.6
ซัลเฟต	0.003	0.15

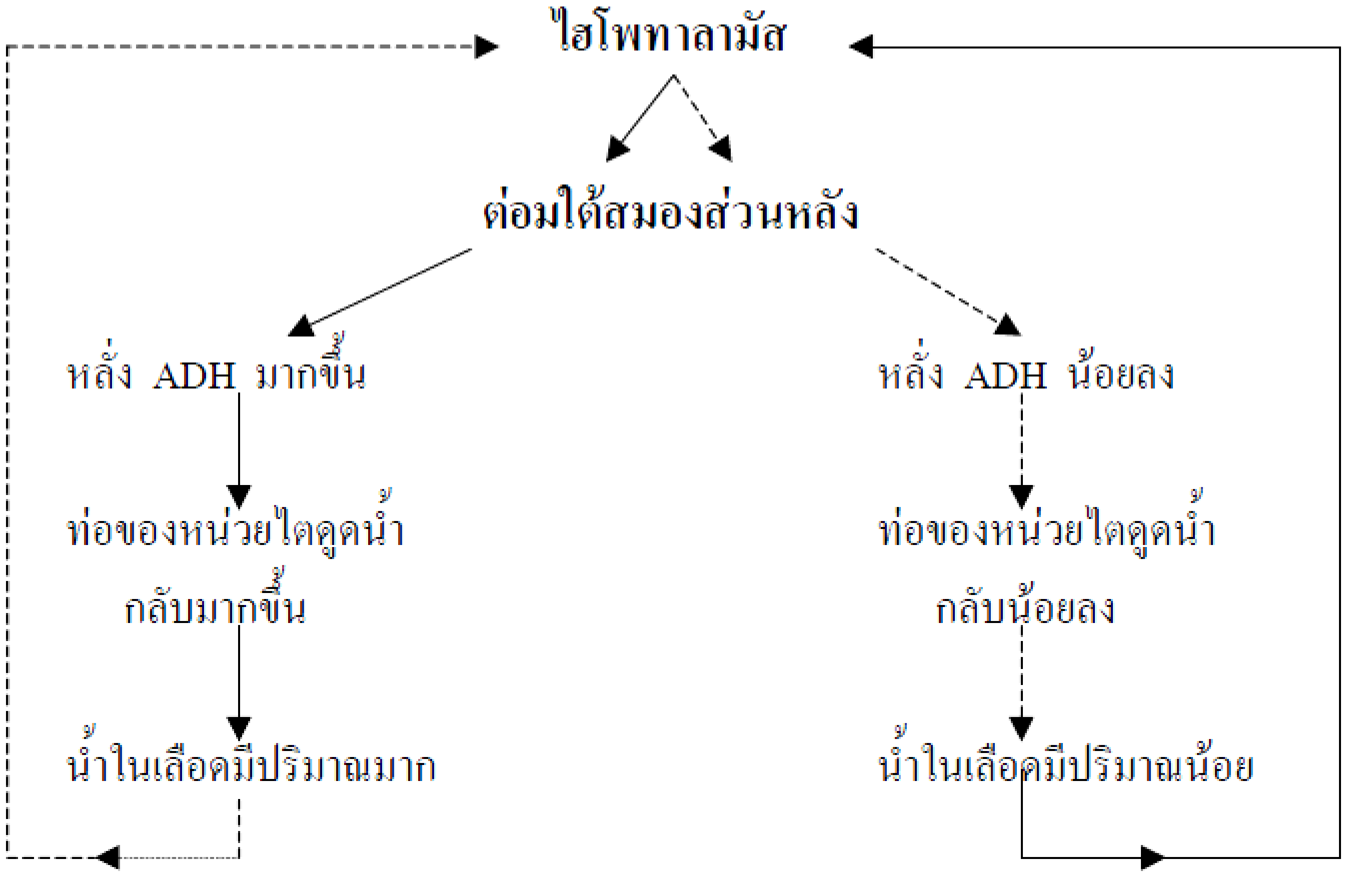
สาร	พลาสมา	ของเหลวที่ผ่านการกรอง	ปัสสาวะ
ของเหลว (L)	180	180	1.5
สารประกอบคาร์บอน (mg/100mL)			
โปรตีน	3,900-5,000	6-11	0*
กลูโคส	100	100	0
ยูเรีย	26	26	1,820
กรดยูริก	3	3	42
ครีเอทินีน**	1.1	1.1	196
ไอออน (mmol/L)			
โซเดียมไอออน	142	142	128
คลอไรด์ไอออน	103	103	134
ไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน	28	28	14
โพแทสเซียมไอออน	5	5	60

ที่มา: ปรับจาก VanPutte, C., Regan, J., Russo, A., Seeley, R., Stephen, RT., Tate, P. (2017). **Seeley's Anatomy & Physiology** (11th ed). New York: McGraw-Hill Education, Inc.

* อาจพบโปรตีนน้อยมาก ซึ่งในตารางจะให้ค่าเป็น 0

**ครีเอทินีน (creatinine) คือ สารที่เกิดจากเมแทบอลิซึมของเซลล์กล้ามเนื้อโครงร่าง ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของไต

ไตกับการรักษาสมดุลน้ำและสารต่าง ๆ



ปัสสาวะน้อย

ปัสสาวะมาก

ความผิดปกติที่เกี่ยวเนื่องกับไตและโรคของไต

-โรคนิ่ว (Calculus)

- เป็นได้ทั้งนิ่วในไต ท่อไต หรือนิ่วในกระเพาะปัสสาวะ

- เกิดจากตะกอนของแร่ธาตุต่าง ๆ ในน้ำปัสสาวะรวมตัวเป็นก้อนอุดตันในท่อปัสสาวะ หรือเกิดจากการที่ร่างกายกรองหรือกำจัดแร่ธาตุออกมามาก ตะกอนอาจจะเกิดการอักเสบติดเชื้อทำให้มีการจับกันของผลึกเป็นก้อนนิ่วได้เร็ว หรือการกินพืชที่มีสารออกซาเลตสูงเช่นใบชะพลู ผักโขม จะทำให้มีโอกาสเป็นนิ่วได้ง่าย

- การรักษาอาจจะใช้ยา ผ่าตัด หรือสลายนิ่วโดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง (Ultra sound)

- การป้องกัน - หลีกเลี่ยงการบริโภคอาหารที่มีออกซาเลตสูง ดื่มน้ำสะอาดวันละมาก ๆ อาจจะทำให้ก้อนนิ่วขนาดเล็กออกมาพร้อมกับน้ำปัสสาวะได้

-โรคไตวาย (Renal failure)

- ไตสูญเสียการทำงานหรือไม่สามารถทำงานได้ ของเสียจะถูกสะสมอยู่ในร่างกาย ไม่สามารถขับถ่ายออกทางน้ำปัสสาวะได้ เกิดความผิดปกติในการรักษาสมดุลน้ำ แร่ธาตุ และความเป็นกรด-เบส ของสารในร่างกาย

- การติดเชื้อที่รุนแรง การสูญเสียเลือดจำนวนมาก หรืออาจเกิดจากการเป็นโรคเบาหวานเป็นเวลานาน

- การรักษา - ควบคุมชนิดและปริมาณของอาหาร การดูแลทั่วไปเพื่อป้องกันการติดเชื้อ

- การใช้ยา หรือการฟอกเลือดโดยใช้ไตเทียม (Artificial kidney) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ทำหน้าที่แทนไต หรืออาจใช้วิธีการผ่าตัดเปลี่ยนไต

การกำจัดของเสียทางผิวหนัง

ผิวหนังกำจัดของเสียในรูปของเหงื่อ ผิวหนังมีต่อมเหงื่อซึ่งประกอบด้วยท่อเล็ก ๆ ขดไปมารอบท่อมีกลุ่มเส้นเลือดฝอยมาพันอยู่ การกรองของเสียออกจากเลือดจะเกิดที่ต่อมเหงื่อนี้

เหงื่อ (Sweat)

เหงื่อประกอบด้วย น้ำ 99 % นอกนั้นเป็นเกลือโซเดียมคลอไรด์ ยูเรีย แอมโมเนีย กรดอะมิโน น้ำตาล และกรดแลกติก เหงื่อขับออกจากร่างกายทางผิวหนังโดยผ่านทาง

ต่อมเหงื่อ ⟶ ท่อเหงื่อ ⟶ รูเหงื่อ

ต่อมเหงื่อ (Sweat gland)

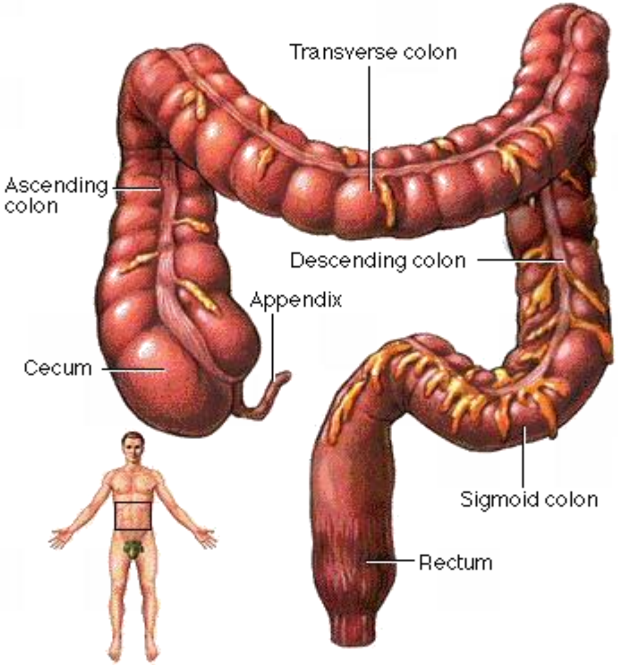
1. ต่อมเหงื่อขนาดเล็ก มีอยู่ที่ผิวหนังทั่วทุกแห่ง ยกเว้น ริมฝีปากและที่อวัยวะสืบพันธุ์บางส่วน จะมีการสร้างเหงื่อแล้วขับถ่ายและระเหยไปตลอดเวลา ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส จะมีการขับเหงื่อออกมาเห็นได้ชัดเจน

2. ต่อมเหงื่อขนาดใหญ่ พบได้เฉพาะบางแห่ง ได้แก่ รักแร้ รอบหัวนม รอบสะดือ ช่องหูส่วนนอก จมูก อวัยวะสืบพันธุ์บางส่วน มีท่อขับถ่ายใหญ่กว่าต่อมเหงื่อขนาดเล็ก และเปิดที่รูขนใต้ผิวหนัง ปกติจะไม่เปิดโดยตรงที่ผิวหนังชั้นนอกสุด
ทำงานตอบสนองต่อการกระตุ้นทางจิตใจ สารที่ขับถ่าย มักมีกลิ่น คือ กลิ่นตัว

การกำจัดของเสียทางลำไส้ใหญ่

ลำไส้ใหญ่ มีความยาวประมาณ 1.50 เมตร กำจัดของเสียในรูป อุจจาระ โดยออกสู่ภายนอกทางทวารหนัก

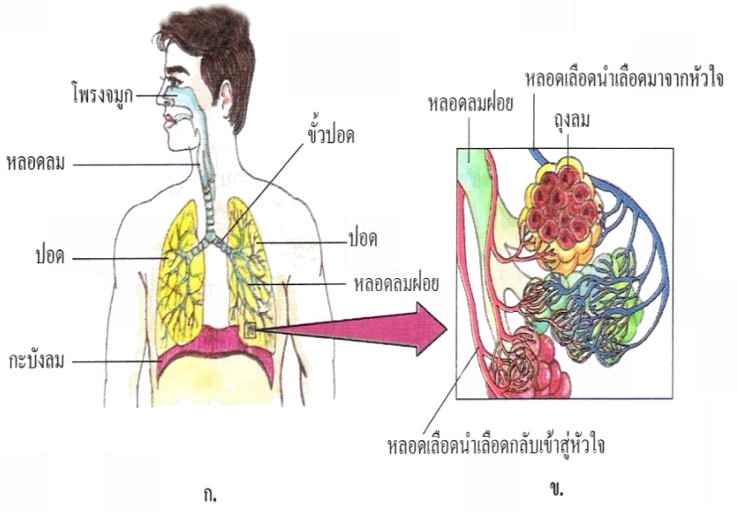
ลำไส้ใหญ่ทำหน้าที่สะสมกากอาหารและดูดซึมสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ได้แก่ น้ำ วิตามิน กลูโคส และแร่ธาตุพวก Na^+ และ K^+ ออกจากกากอาหาร ทำให้กากอาหารเหนียวและแข็งขึ้นหลังจากนั้นจึงบีบตัวให้กากอาหารไปรวมกันที่ลำไส้ตรงและขับออกสู่ภายนอกเรียกว่า อุจจาระ



การกำจัดของเสียทางปอด

1. น้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นแพร่ออกจากเซลล์เข้าสู่หลอดเลือด โดยละลายปนอยู่ในเลือดก่อนที่จะถูกลำเลียงส่งต่อไป

2. เลือดที่มีของเสียละลายปนอยู่ เมื่อไปถึงบริเวณปอด ของเสียต่าง ๆ ที่สะสมอยู่ในเลือด จะแพร่ผ่านผนังของหลอดเลือดเข้าสู่ถุงลมของปอดและจะถูกลำเลียงไปตามหลอดลม เพื่อกำจัดออกจากร่างกายทางจมูกพร้อมกับลมหายใจออก

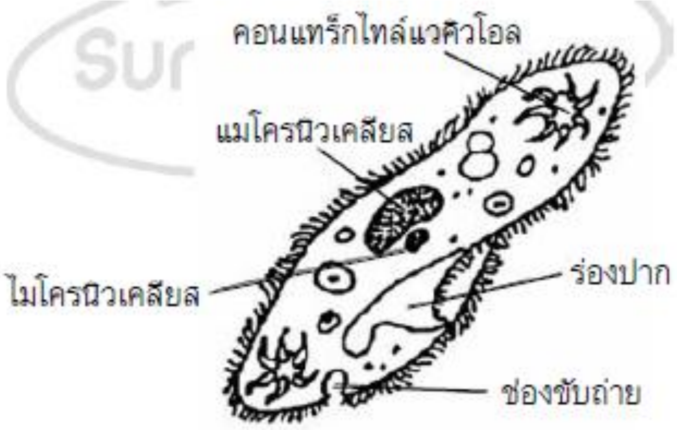


การรักษาดุลยภาพของน้ำและแร่ธาตุในสิ่งมีชีวิตอื่นๆ

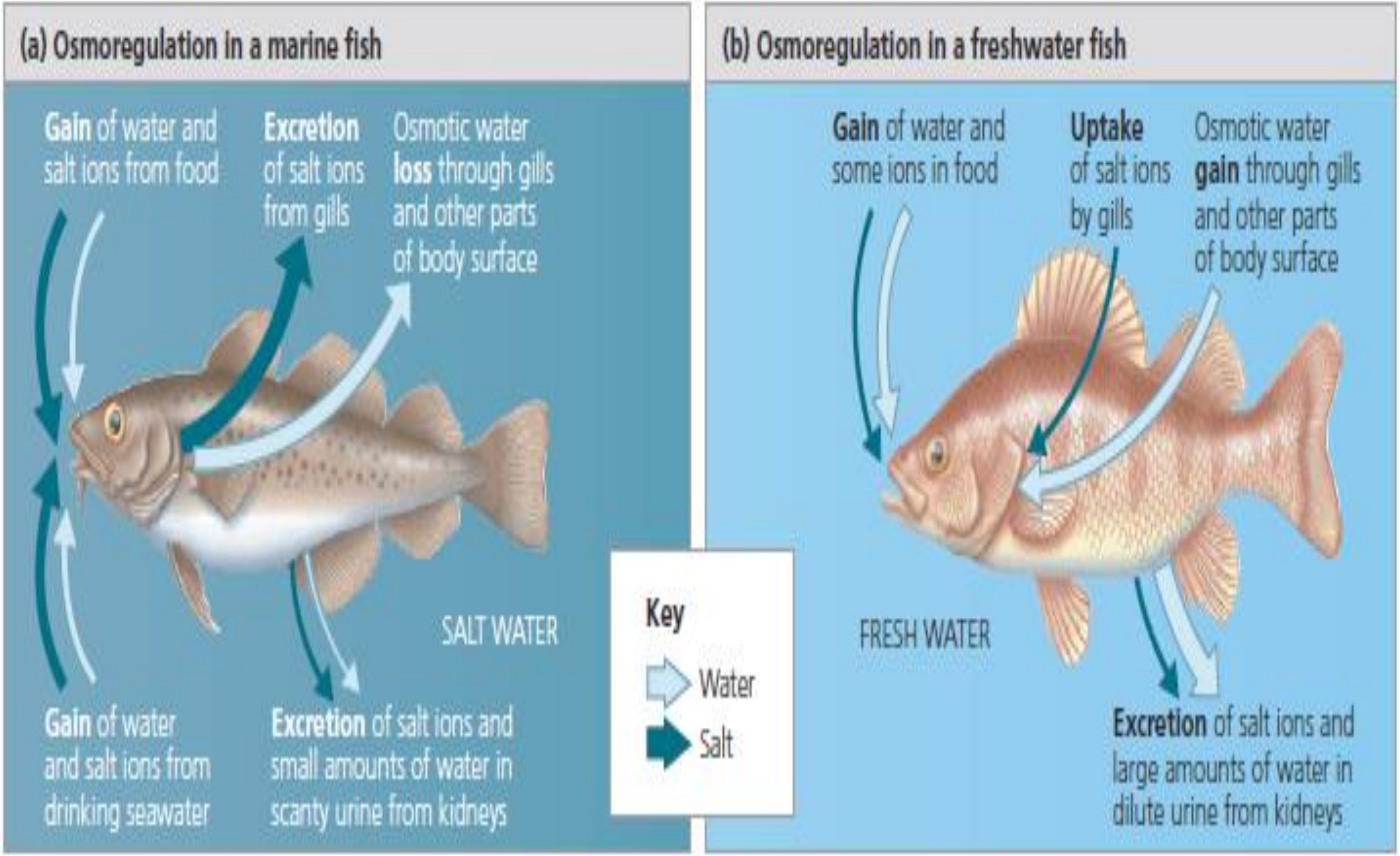
การรักษาดุลยภาพของน้ำและแร่ธาตุในร่างกายของสิ่งมีชีวิตเกี่ยวข้องกับแรงดันออสโมติก (Osmotic Pressure)

1. โพรทิสต์ (Protist)

ใช้คอนแทร็กไทล์แวคิวโอล (Contractile Vacuole) กำจัดน้ำส่วนเกินออกจากเซลล์



ภาพคอนแทร็กไทล์แวคิวโอลในพารามีเซียม


(a) Osmoregulation in a marine fish
Gain of water and salt ions from food
Excretion of salt ions from gills
Osmotic water loss through gills and other parts of body surface
SALT WATER
Gain of water and salt ions from drinking seawater
Excretion of salt ions and small amounts of water in scanty urine from kidneys
Key
Water
Salt
(b) Osmoregulation in a freshwater fish
Gain of water and some ions in food
Uptake of salt ions by gills
Osmotic water gain through gills and other parts of body surface
FRESH WATER
Excretion of salt ions and large amounts of water in dilute urine from kidneys

การรักษาสมดุลของกรด -เบสในร่างกาย

การควบคุมสมดุลกรดเบสในร่างกาย เกิดจากการทำงานร่วมกันของระบบ 3 ระบบ คือ

1. ระบบบัฟเฟอร์ในร่างกาย
2. ระบบการหายใจ
3. ระบบการทำงานของไต

การรักษาดุลยภาพของอุณหภูมิร่างกายของสัตว์

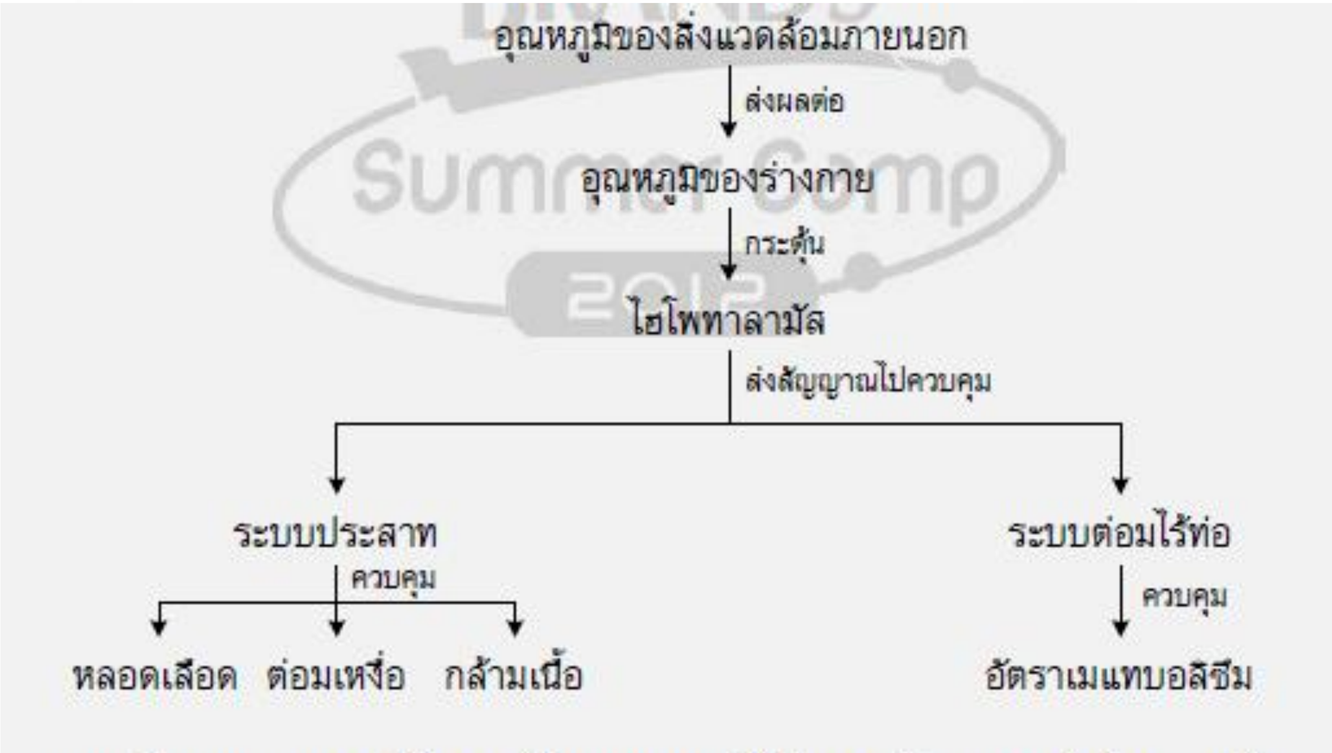
สัตว์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของร่างกาย ดังนี้

1. สัตว์เลือดเย็น หมายถึง สัตว์ที่มีอุณหภูมิร่างกายไม่คงที่ เพราะจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมภายนอก ตัวอย่างเช่น ไส้เดือนดิน หอย แมลง ปลา สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก และสัตว์เลื้อยคลาน

2. สัตว์เลือดอุ่น หมายถึง สัตว์ที่มีกลไกรักษาอุณหภูมิร่างกายให้คงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ได้แก่ สัตว์ปีก และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

กลไกการรักษาอุณหภูมิร่างกายของสัตว์เลือดอุ่น

ศูนย์ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย คือ สมองส่วนไฮโพทาลามัส (Hypothalamus) ซึ่งจะส่งสัญญาณไปตามระบบประสาทและระบบต่อมไร้ท่อ ดังนี้



แผนผังผลของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายนอกที่มีต่อการทำงานของไฮโพทาลามัส

การรักษาอุณหภูมิของมนุษย์ *(Thermoregulation)*

เมื่ออุณหภูมิสูง

อุณหภูมิร่างกายเพิ่ม

↓

รับรู้โดยไฮโพทาลามัส

↓

หลอดเลือดขยาย หลั่งเหงื่อ

↓

อุณหภูมิลด

↓

เข้าสู่ภาวะปกติ

เมื่ออุณหภูมิต่ำ

อุณหภูมิร่างกายลด

↓

รับรู้โดยไฮโพทาลามัส

↓

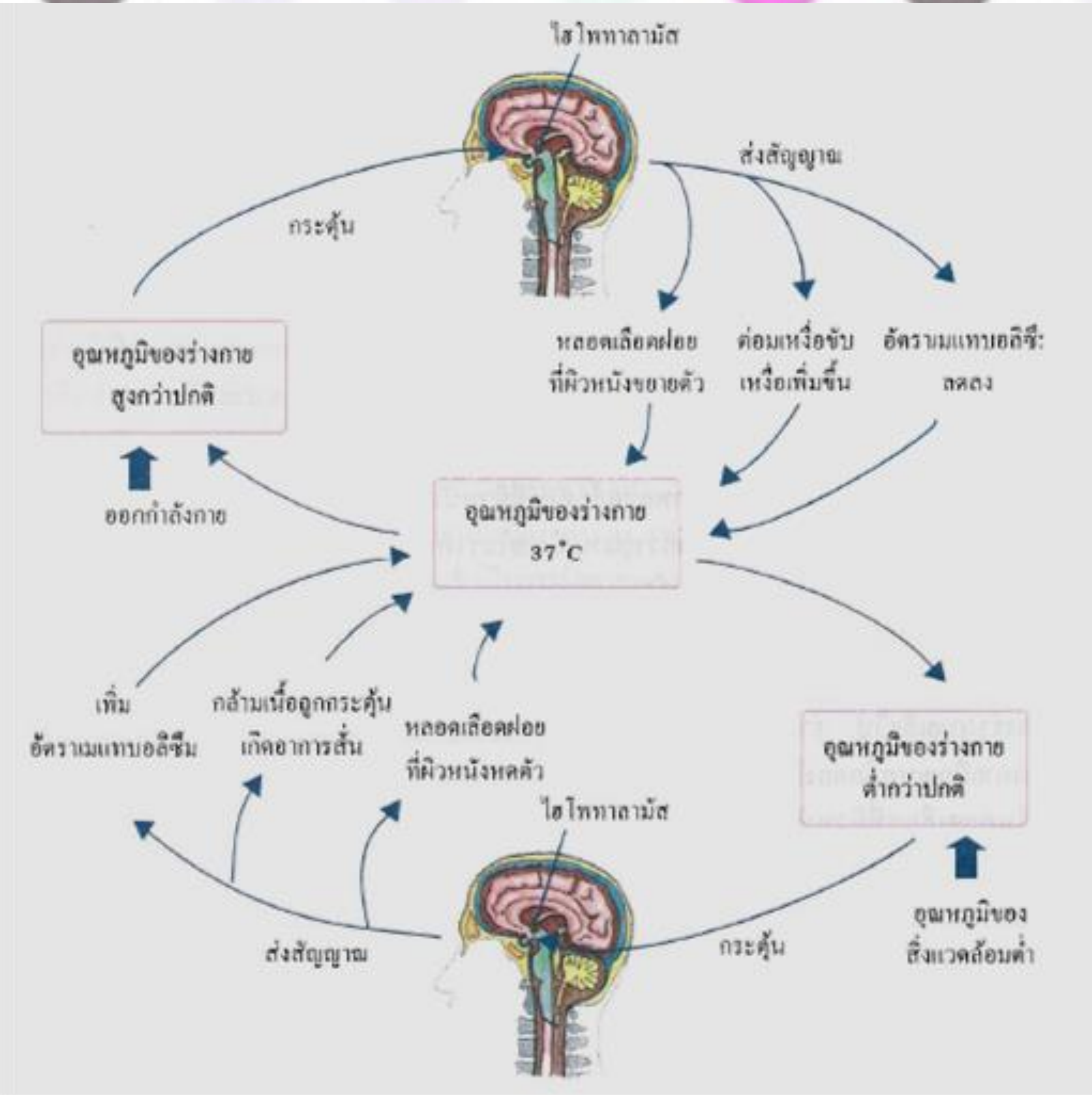
หลอดเลือดหดตัว กล้ามเนื้อหด

↓

อุณหภูมิสูง

↓

เข้าสู่ภาวะปกติ



ไฮโพทาลามัส
ส่งสัญญาณ
กระตุ้น
หลอดเลือดฝอยที่ผิวหนังขยายตัว
ต่อมเหงื่อขับเหงื่อเพิ่มขึ้น
อัตราเมแทบอลิซึมลดลง
อุณหภูมิของร่างกายสูงกว่าปกติ
ออกกำลังกาย
อุณหภูมิของร่างกาย 37°C
เพิ่มอัตราเมแทบอลิซึม
กล้ามเนื้อถูกกระตุ้นเกิดอาการสั่น
หลอดเลือดฝอยที่ผิวหนังหดตัว
อุณหภูมิของร่างกายต่ำกว่าปกติ
ไฮโพทาลามัส
ส่งสัญญาณ
กระตุ้น
อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมต่ำ