การแลกเปลี่ยนแก๊สของ
สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวและสัตว์

Respiration or gas exchange

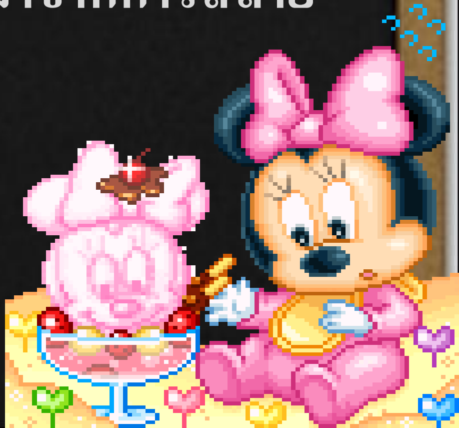
การหายใจ

คือ การที่สิ่งมีชีวิต มีการแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์กับสิ่งแวดล้อม เพราะเซลล์จำเป็นที่จะต้องมีการใช้พลังงานในขณะที่มีชีวิตอยู่

ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องระหว่างพลังงานและความมีชีวิต คือ

พลังงานทางชีววิทยา ได้มาจากการสลายสารอาหารประเภทไขมัน ไกลโคเจน และ

คาร์โบไฮเดรต โดยประมาณร้อยละ 90 ของพลังงานที่ได้นั้นมาจากการสลายโมเลกุลของสารอาหารแบบใช้ออกซิเจน

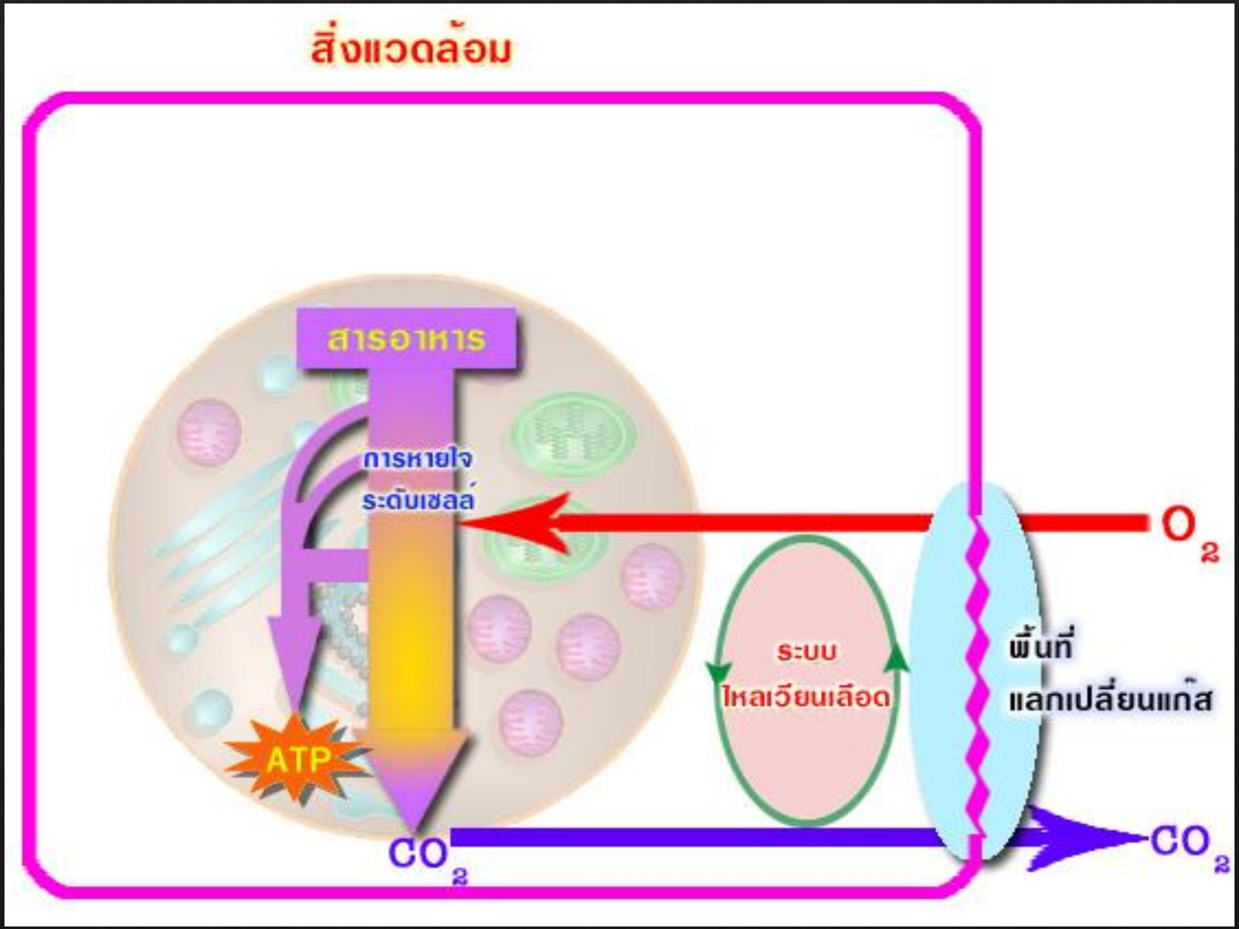


สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีโครงสร้างของร่างกาย รวมทั้งสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัยแตกต่างกัน จึงทำให้มีโครงสร้างในการแลกเปลี่ยนแก๊สที่แตกต่างกัน

แก๊สออกซิเจน เป็นสิ่งต้องใช้ในกระบวนการสลายสารอาหาร แต่ร่างกายไม่สามารถสะสมออกซิเจนไว้ได้นาน ถ้าขาดออกซิเจนเซลล์ต่างๆ ในร่างกายจะตาย

เซลล์พยายามรักษาสมดุล โดยการขับ CO_2 ที่ได้จากการสลายสารอาหาร เพราะ CO_2 จะรวมตัวกับน้ำได้ กรดคาร์บอนิก ทำให้ค่าความเป็นกรดเบสเสียไป โดยมีสภาพค่อนข้างเป็นกรด

การแลกเปลี่ยนแก๊สที่อวัยวะหายใจต่างๆ เป็น **กระบวนการแพร่ (Diffusion)** โดยแพร่จากความเข้มข้นแก๊สสูงไปสู่ความเข้มข้นของแก๊สต่ำ



กระบวนการหายใจแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ

1. การหายใจภายนอก (External Respiration)

หมายถึง การที่สิ่งมีชีวิตมีการแลกเปลี่ยนแก๊ส ระหว่างสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมภายนอก

2. การหายใจภายในหรือการหายใจระดับเซลล์ (Internal /Cellular Respiration)

หมายถึง การนำอากาศเข้าและออกบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ทั้งการหายใจระดับเซลล์เพื่อสลายสารให้ได้พลังงาน เกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ การหายใจแบบใช้ออกซิเจนและการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

แก๊สที่สำคัญในกระบวนการหายใจ

- กระบวนการหายใจ ออกซิเจนเป็นสิ่งจำเป็นมาก เพราะถูกใช้ในการสันดาปอาหารต่างๆ

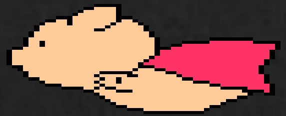
- อัตราส่วนของแก๊ส O_2, CO_2 และ N_2 ในลมหายใจเข้าและออกพบว่า

  $N_2 > O_2 > CO_2$

- แก๊สที่มีสัดส่วนเปลี่ยนแปลงในลมหายใจเข้าออก คือ O_2 และ CO_2 โดย

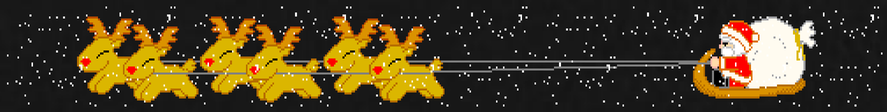
ในลมหายใจออกจะมีสัดส่วนของ O_2 ลดลงแต่ CO_2 เพิ่มขึ้น

การหายใจมีความสัมพันธ์กับเมแทบอลิซึม

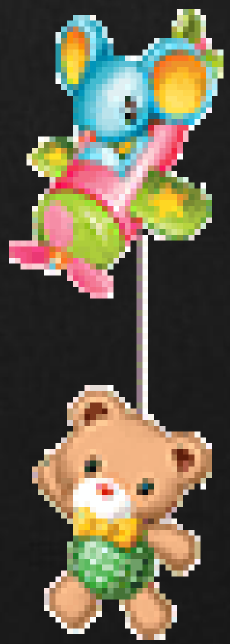


- การหายใจเป็นกระบวนการ Catabolism เพื่อผลิตพลังงานในรูป ATP
- พลังงานที่เกิดจากการหายใจในกระบวนการ Catabolism จะถูกนำไปใช้

  ในกระบวนการเจริญเติบโตของร่างกาย (Anabolism)
- การหายใจจะเป็นกลไกสำคัญในการควบคุมเมแทบอลิซึมทุกชนิดที่จำเป็นต้องใช้พลังงาน เช่น การสังเคราะห์สาร การเคลื่อนไหว กระบวนการ Active transport



การแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม



- ส่วนใหญ่เป็น O_2 และ CO_2 กลไกการแลกเปลี่ยนแก๊สเกิดได้โดยอาศัยการแพร่ระหว่างแก๊สซึ่งมีความดันต่างกัน ความดันที่ต่างกันเกิดจากปริมาณแก๊สที่ต่างกัน เช่น อากาศในถุงลมมี O_2 อยู่ประมาณ21% โดยปริมาตร ซึ่งสูงกว่าปริมาณ O_2 ในเลือด ดังนั้น O_2 จะแพร่จากถุงลมเข้าสู่เลือด

บริเวณที่จะเกิดการแพร่ของแก๊สเข้าและออกจากสิ่งมีชีวิตได้นั้น

จะต้องเป็นบริเวณที่มีลักษณะพื้นฐานสำคัญอย่างเดียวกัน คือ

1. พื้นผิวแลกเปลี่ยนแก๊สต้องมีขนาดพอเพียงและมีความบางพอเหมาะ ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญที่สุด

2. พื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนแก๊สต้องได้รับการรักษาให้ชุ่มชื้นอยู่เสมอ

3. มีกลไกและวิธีการต่างๆ ที่จะช่วยในการลำเลียงแก๊สระหว่างพื้นที่แลกเปลี่ยนแก๊สกับสิ่งแวดล้อมและเซลล์ที่อยู่ข้างในร่างกาย

4. มีการป้องกันพื้นที่ผิวหายใจจากอันตรายต่างๆ โดยเฉพาะการเสียดสีและการกระทบกระเทือน

โครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวและของสัตว์

การนำแก๊สเข้าไปให้เนื้อเยื่อ

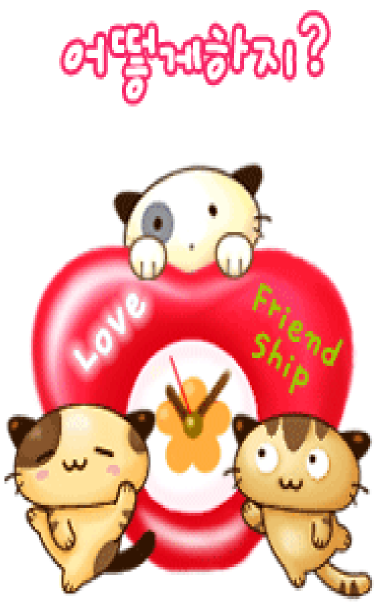
ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

- ขั้นแรก : เป็นการนำแก๊สจากสิ่งแวดล้อมเข้ามาให้สิ่งมีชีวิต (ventilation)
- ขั้นที่สอง : เป็นการแลกเปลี่ยนแก๊สผ่านเยื่อ (exchange)
- ขั้นที่สาม : เป็นการลำเลียงออกซิเจน จากพื้นที่หายใจเข้าไปให้เนื้อเยื่อ (transport)

โครงสร้างที่ใช้แลกเปลี่ยนแก๊สนี้อาจแบ่งได้เป็น 4 ประเภท

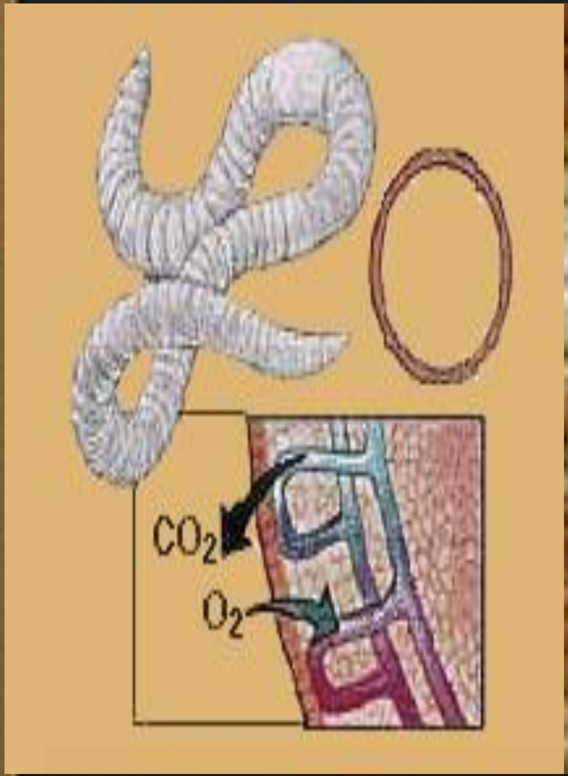
1. ผิวของร่าง (body surface)

พบในสัตว์เล็กๆ ที่มีสัดส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรสูง (เช่น ขนาดตัวเล็กและยาว หรือแบน) ใช้ผิวหนังทั่วร่างเป็นพื้นที่หายใจ เช่น โปรโตซัว ฟองน้ำ พยาธิตัวแบน ไส้เดือน เป็นต้น สัตว์เหล่านี้มีผิวหนังที่ประกอบด้วยเซลล์จำนวนไม่มาก มีลักษณะบาง ทำให้แก๊สสามารถแพร่ผ่านเข้าออกได้ง่าย ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ผ่านเข้า-ออก ได้โดยตรงไม่ต้องอาศัยระบบทางเดินหายใจ



HOW © yorocat

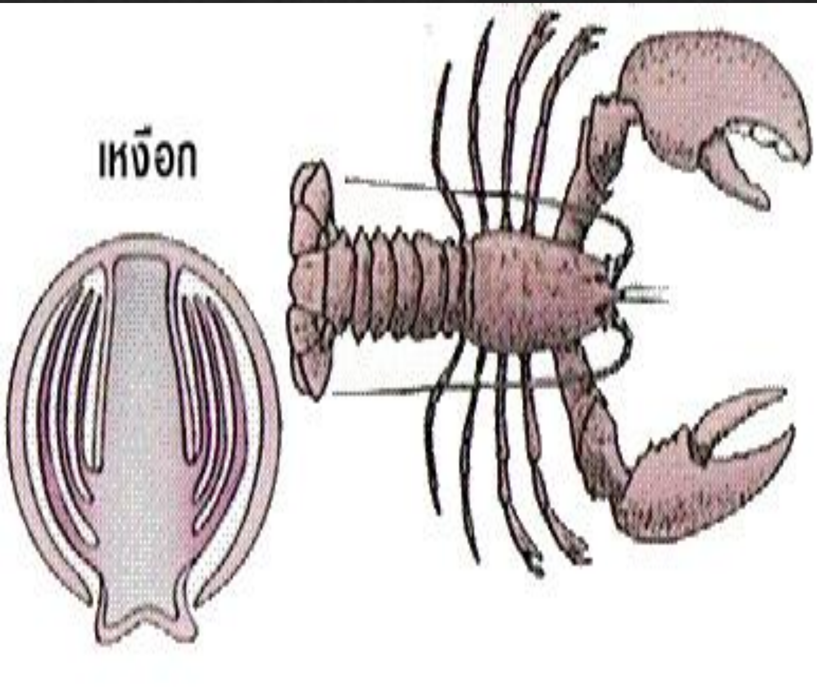
ได้ออกซิเจน ประมาณ 25% จากทางผิวหนัง สัตว์พวกนี้จะต้องมีผิวหนังที่เปียกชื้น จึงจะสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สได้ ดังนั้นจึงต้องอาศัยอยู่ในน้ำหรือที่เปียกชื้น

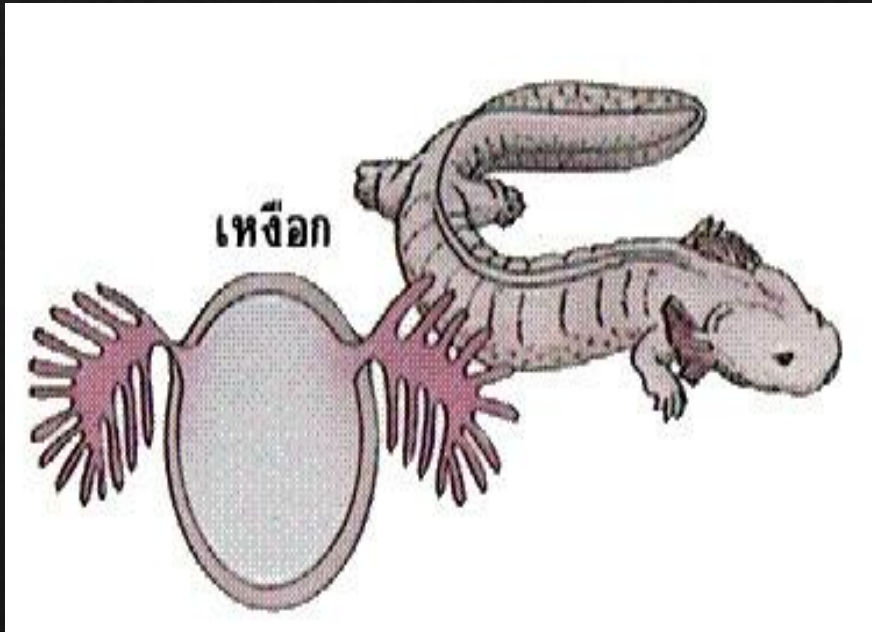


2. เหงือก (gill)

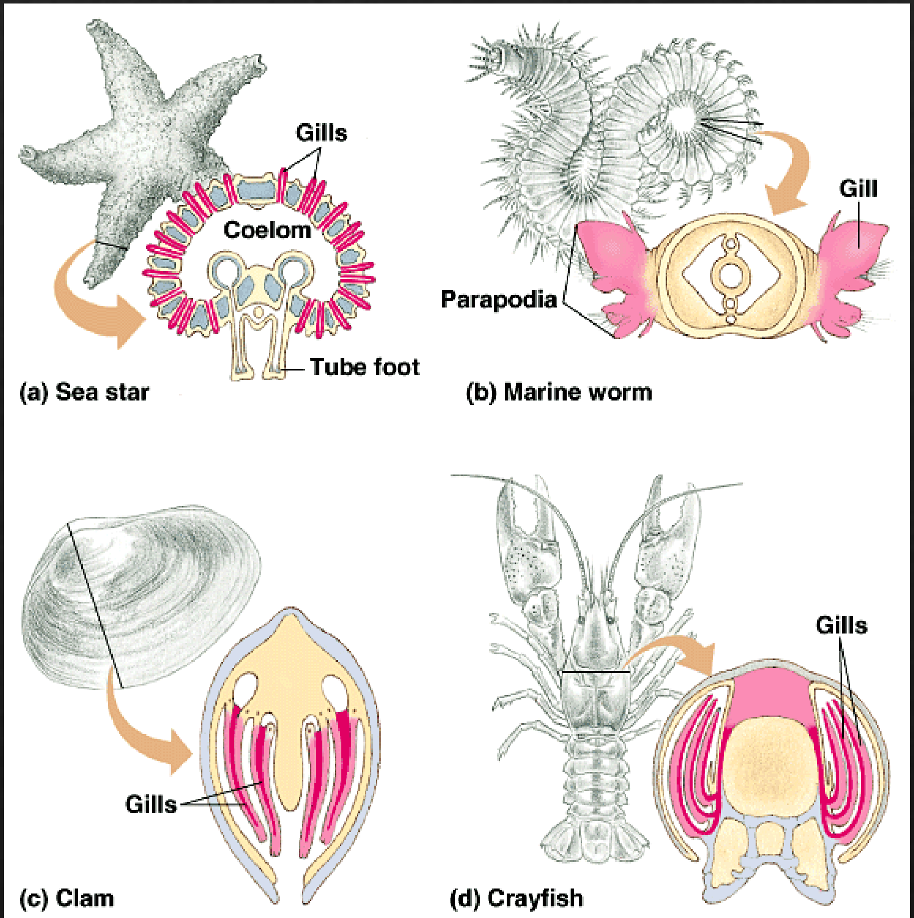
เป็นพื้นที่หายใจของสัตว์น้ำหลายประเภท ตั้งแต่สัตว์ใหญ่ เช่น ปลา ไปจนถึง กุ้ง หอย ปลาดาว หนอนทะเล เป็นต้น

- โครงสร้างคล้ายขนนกที่ยื่นออกมานอกตัวเข้าไปในน้ำ เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ
- เหงือกปลามีเนื้อเยื่อที่ **ลักษณะคล้ายขนนกที่พับไปมาเรียงตัวกันเป็นแผง** ภายในประกอบด้วยเส้นเลือดฝอยจำนวนมาก ขณะที่ปลาว่ายน้ำออกซิเจนปริมาณน้อยที่ละลายอยู่ในน้ำจะแพร่ผ่านผนังของเส้นเลือดฝอยเหล่านี้แล้วไหลเวียนไปตามระบบหมุนเวียนเลือด


เหงือก


เหงือก

Respiratory medium เป็นน้ำ



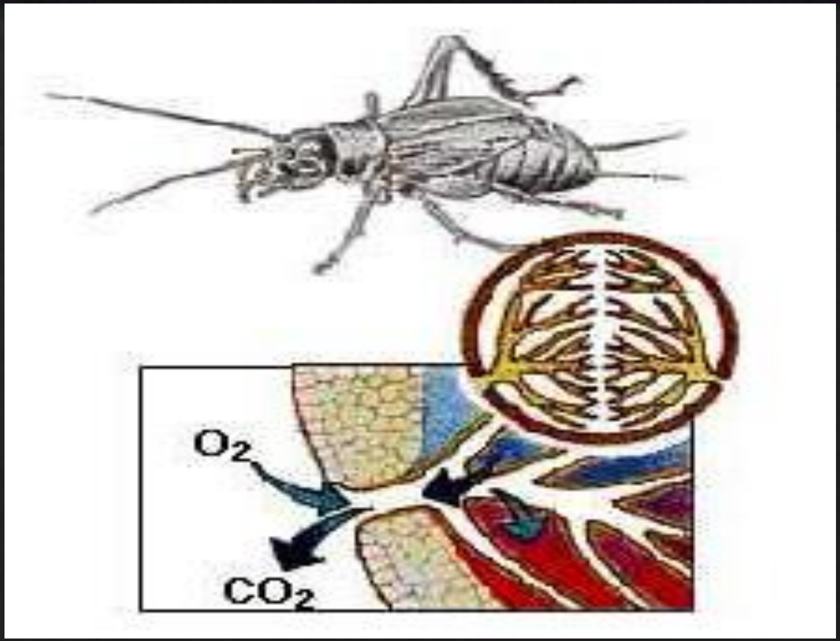
ข้อดี : ทำให้ไม่ต้องระวังเกี่ยวกับการรักษาความชื้นให้ respiratory surface

ข้อเสีย : ปริมาณ O_2 ในน้ำต่ำกว่าในอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่น้ำเค็มและอุ่น

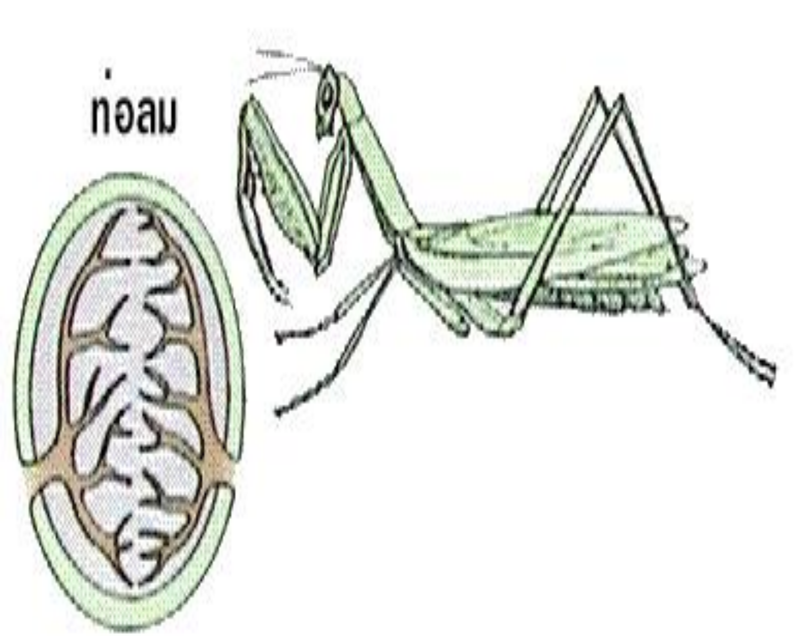
ดังนั้นเหงือกจึงต้องมีวิธีการดึงเอา O_2 ออกมาจากน้ำให้ได้มากที่สุด เช่น ให้น้ำผ่านเหงือกตลอดเวลา,จัดเรียงเส้นเลือดฝอยให้เลือดไหลสวนทางกับกระแสน้ำ

3. ท่อลม (trachea)

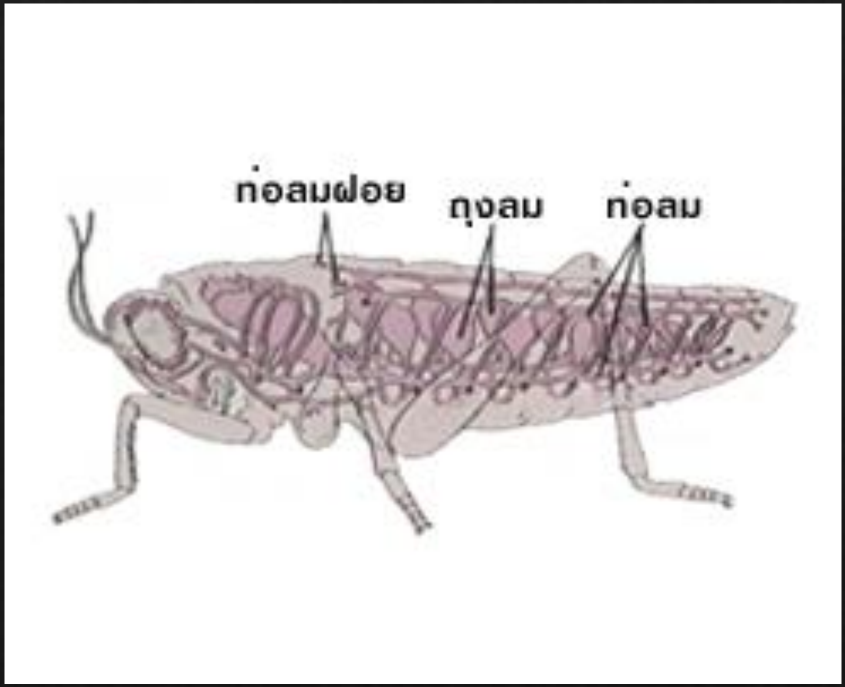
พบใน แมลง ท่อลมขนาดใหญ่จะ อยู่บริเวณกลางลำตัว แล้วแตกแขนงเป็นท่อขนาดเล็ก ขนาดฝอย แทรกไปตามเซลล์ในเนื้อเยื่อแทบทุกเซลล์ ปลายสุดของแต่ละท่อลมเปิดออกทางด้านข้างของลำตัว เป็นช่องสำหรับให้อากาศผ่านเข้าออกโดยตรง ซึ่ง **การแลกเปลี่ยนแก๊ส เกิดขึ้นที่บุส่วนปลายสุดของระบบท่อลม** ออกซิเจนสามารถซึมเข้าไปในเซลล์ได้โดยตรง



O_2
CO_2



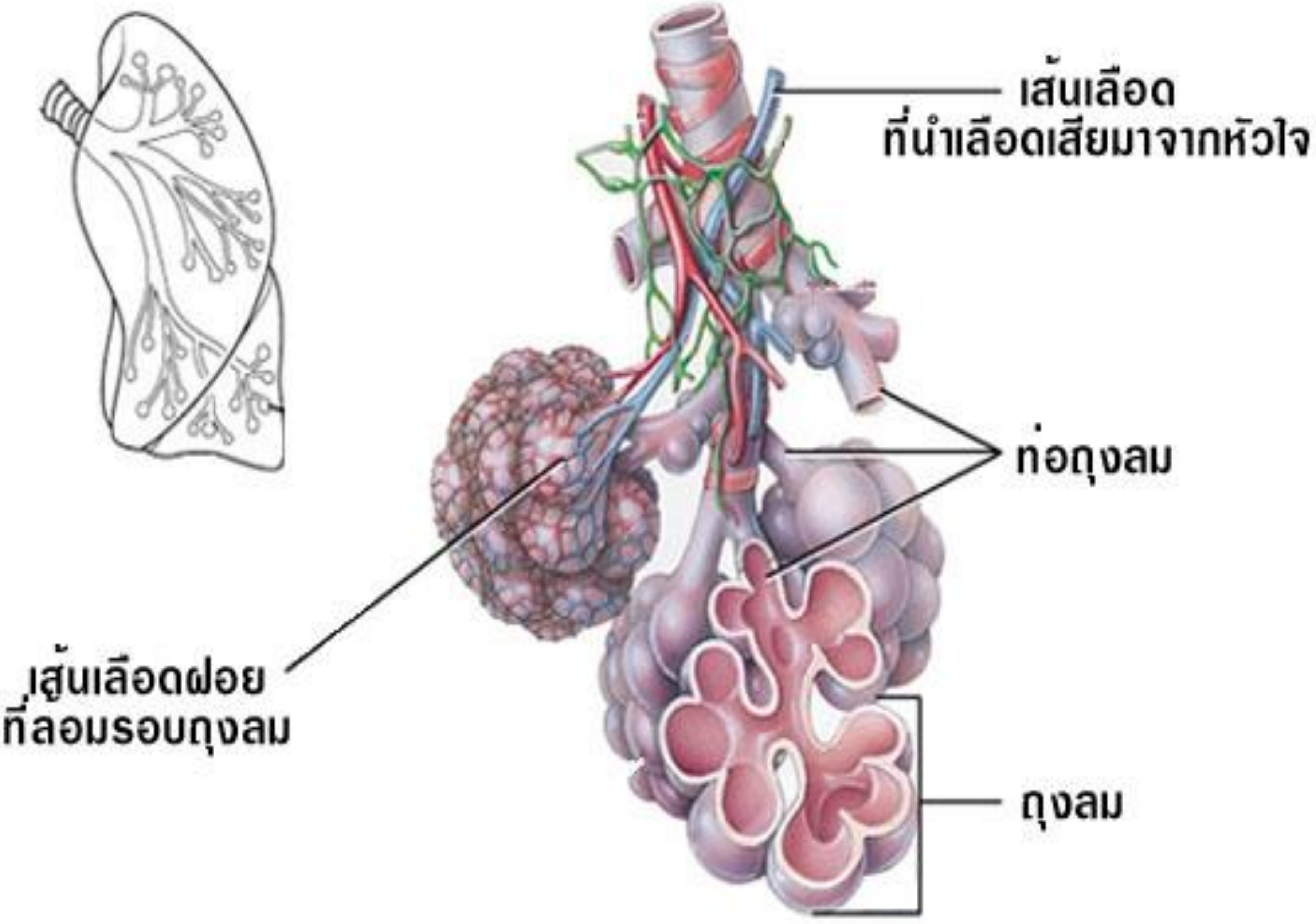
ท่อลม



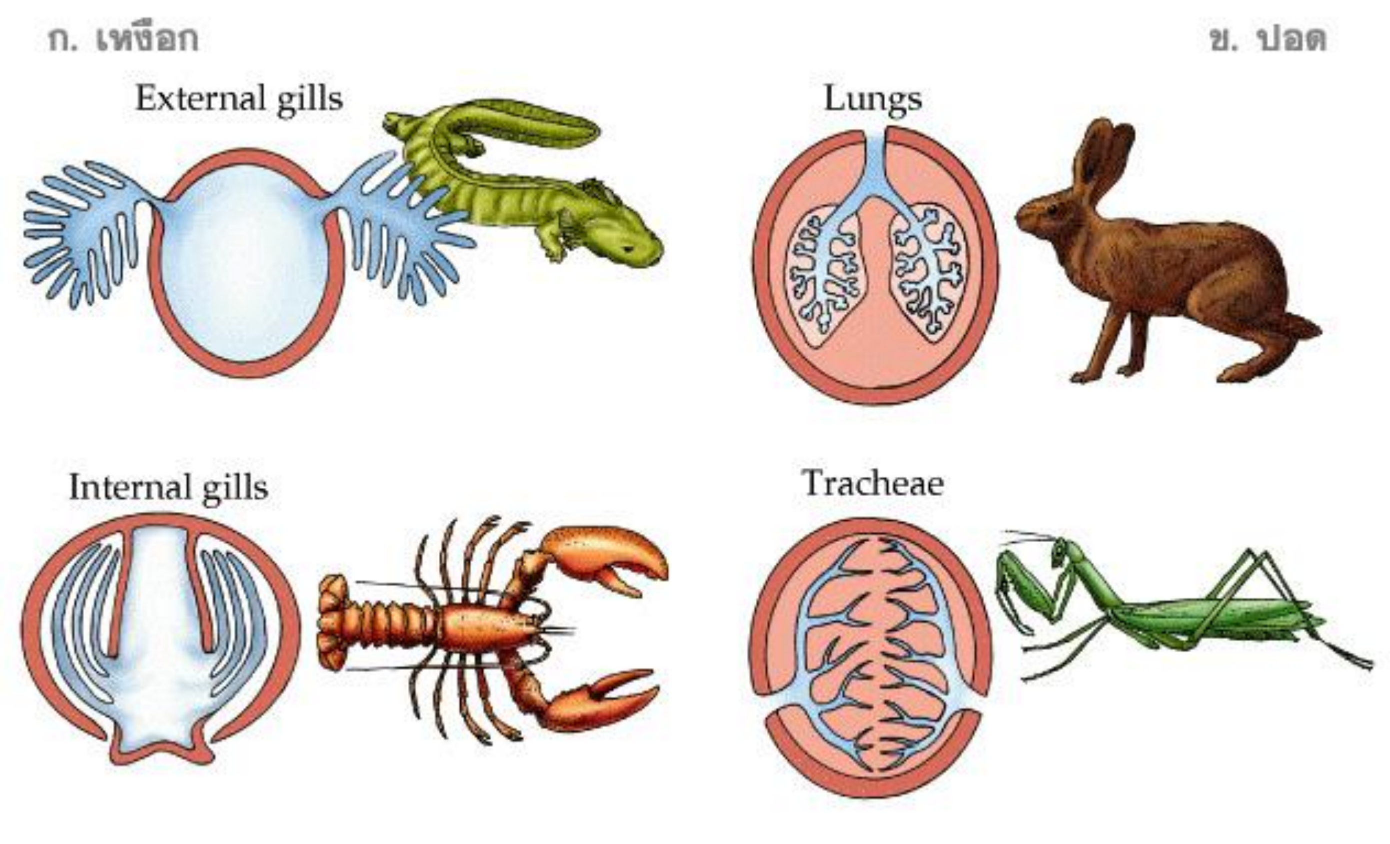
ท่อลมฝอย
ถุงลม
ท่อลม

4. ปอด (lung)

พบในสัตว์มีกระดูกสันหลังที่อยู่บนบกทั่วไป อากาศจากภายนอกจะผ่านเข้าทางรูจมูก ผ่านหลอดลมเข้าสู่ปอด ภายในปอด อากาศจะเข้าไปยังถุงลมเล็กๆ ที่กระจายอยู่ทั่วไป รอบๆ ถุงลงเหล่านี้ มีเส้นเลือดฝอยมาล้อมรอบ ในเม็ดเลือดแดงมีฮีโมโกลบินซึ่งเป็นรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการหายใจ (respiratory pigment) ทำหน้าที่ลำเลียงออกซิเจนจากถุงลมที่แพร่ผ่านเข้าไปในกระแสเลือดไปยังเซลล์ทั่วร่างกาย เพื่อช่วยในการสร้างพลังงานและในการนี้จะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นของเสียออกนอกเซลล์และนอกร่างกาย



เส้นเลือด
ที่นำเลือดเสียมาจากหัวใจ
ท่อถุงลม
เส้นเลือดฝอย
ที่ล้อมรอบถุงลม
ถุงลม

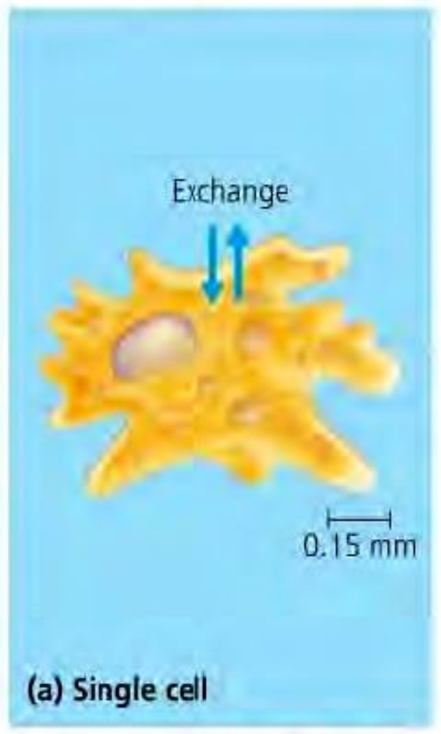


โครงสร้างที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สของสิ่งมีชีวิตต่างๆ

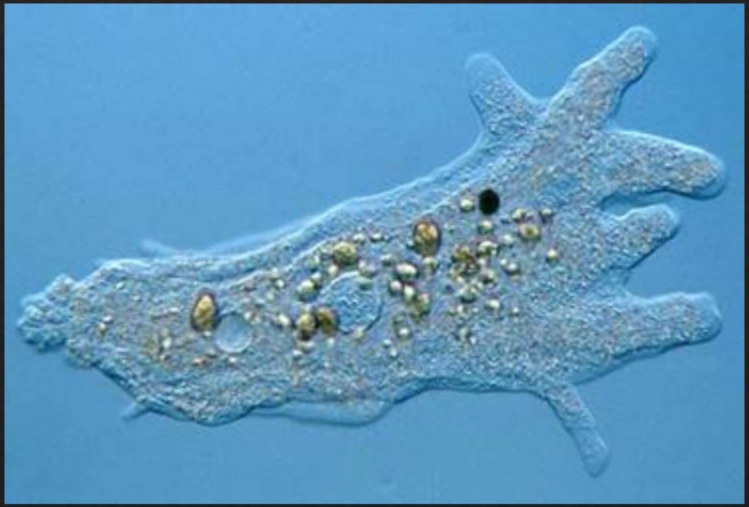
การแลกเปลี่ยนแก๊สของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว

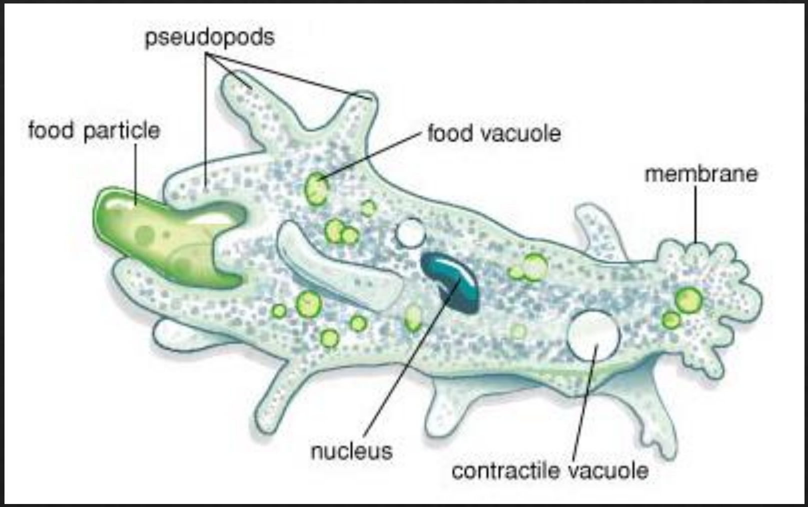
Amoeba and Paramecium

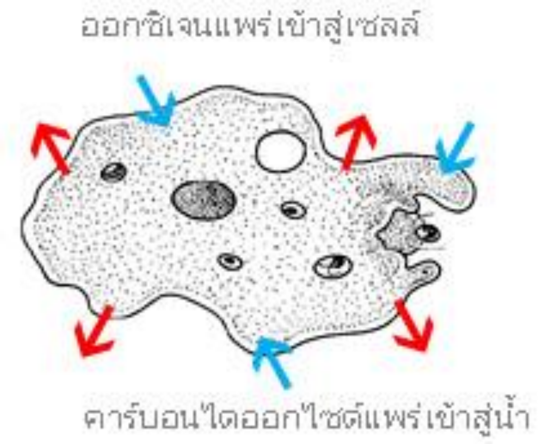
เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่อาศัยอยู่ในน้ำ เซลล์จึงสัมผัสกับน้ำโดยตรงการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างเซลล์กับสิ่งแวดล้อมทำได้โดย การแพร่ของแก๊สผ่านเข้า - ออกทางเยื่อหุ้มเซลล์ โดยที่ภายในเซลล์มี O_2 น้อยกว่าสิ่งแวดล้อม (ในน้ำ) O_2 จึงแพร่จากน้ำผ่านเข้าสู่เซลล์ และในขณะเดียวกัน CO_2 ในเซลล์จะมีอยู่หนาแน่นกว่าสิ่งแวดล้อมจึงแพร่ออกจากเซลล์



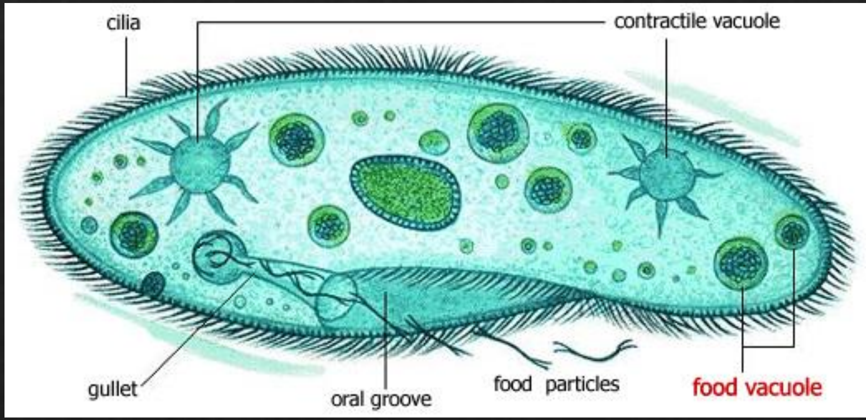
Amoeba

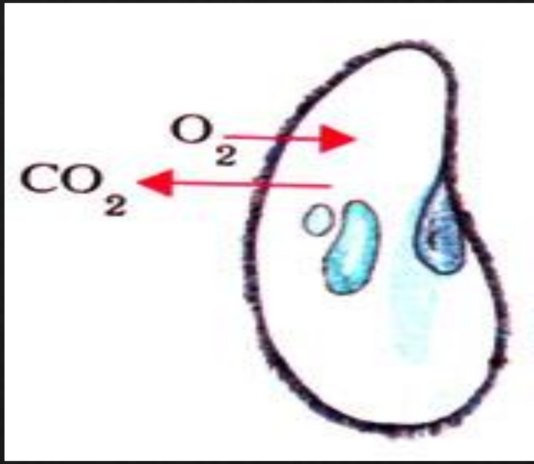



pseudopods
food particle
food vacuole
membrane
nucleus
contractile vacuole


ออกซิเจนแพร่เข้าสู่เซลล์
คาร์บอนไดออกไซด์แพร่เข้าสู่น้ำ

Paramecium


cilia
contractile vacuole
gullet
oral groove
food particles
food vacuole

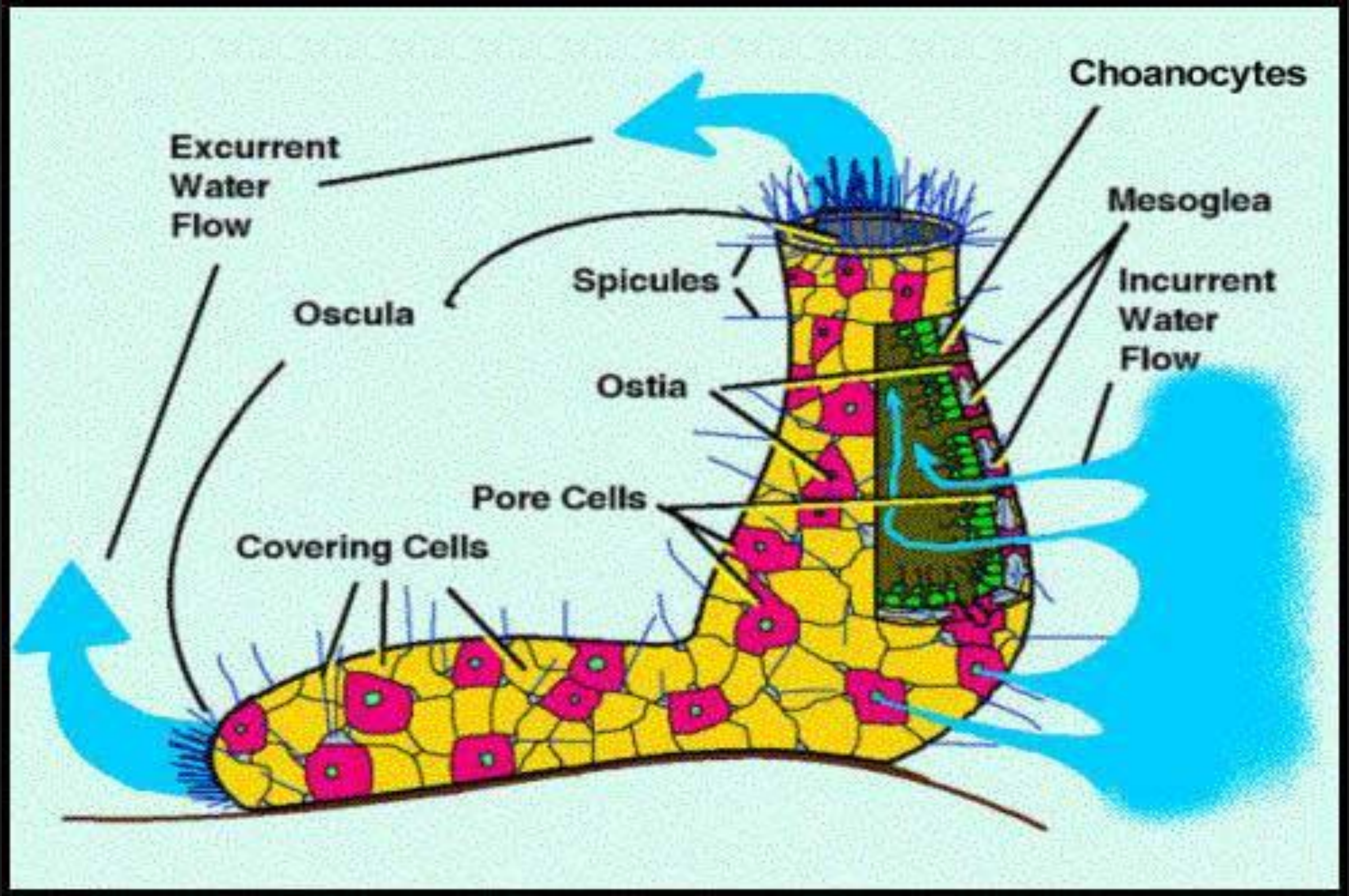

O_2
CO_2

การแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์

1. การแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำ

- ฟองน้ำ มีรูพรุน ออสเตีย (ostia) รอบตัว น้ำจะไหลเข้าทางรูพรุนนี้และไหลออกทางรูน้ำออกออสคิวลา ในขณะที่มีการไหลเวียนของน้ำผ่านเซลล์และผ่านลำตัวฟองน้ำ จะเกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สโดยการแพร่ได้ทันที

Sponge


Choanocytes
Excurrent Water Flow
Mesoglea
Spicules
Incurrent Water Flow
Oscula
Ostia
Pore Cells
Covering Cells

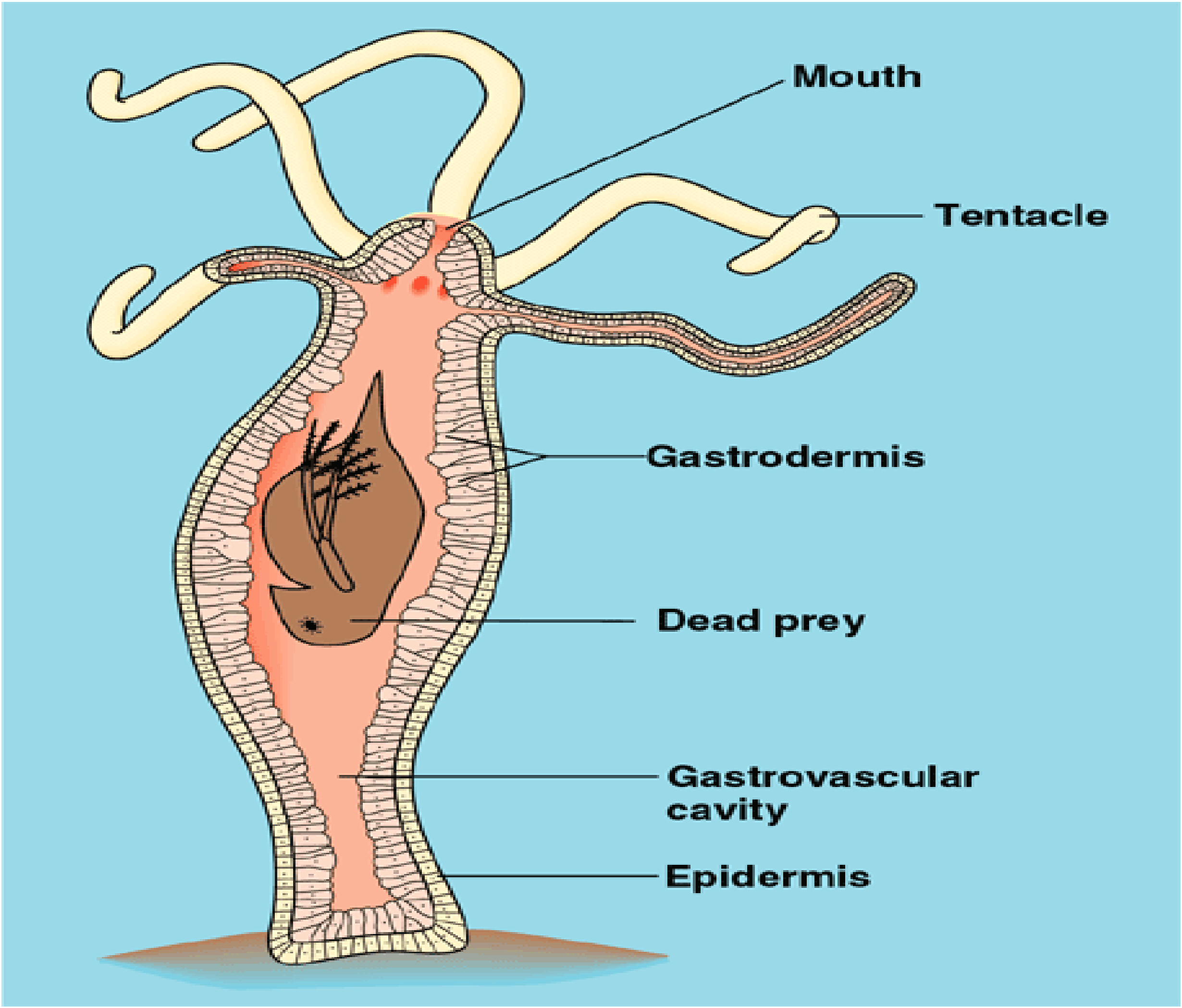
Hydra

มีผิวลำตัวบาง ผิวลำตัวด้านนอกติดกับน้ำโดยตรง ส่วนผิวลำตัวด้านในมีช่องกลางลำตัว คือ **Gastrovascular Cavity** ซึ่งมีน้ำไหลผ่านเข้าออกทางช่องปากอยู่เสมอ ทำให้เกิดการไหลเวียนและเกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สได้ด้วย จึงทำให้เซลล์ด้านนอกและด้านในของไฮดราได้รับ O_2 และถ่ายเท CO_2 ได้อย่างเพียงพอ

แมงกระพรุน

เป็นสัตว์กลุ่มเดียวกันกับไฮดราแต่มีขนาดใหญ่กว่าใช้ผิวลำตัวในการแลกเปลี่ยนแก๊สเช่นกัน

Hydra

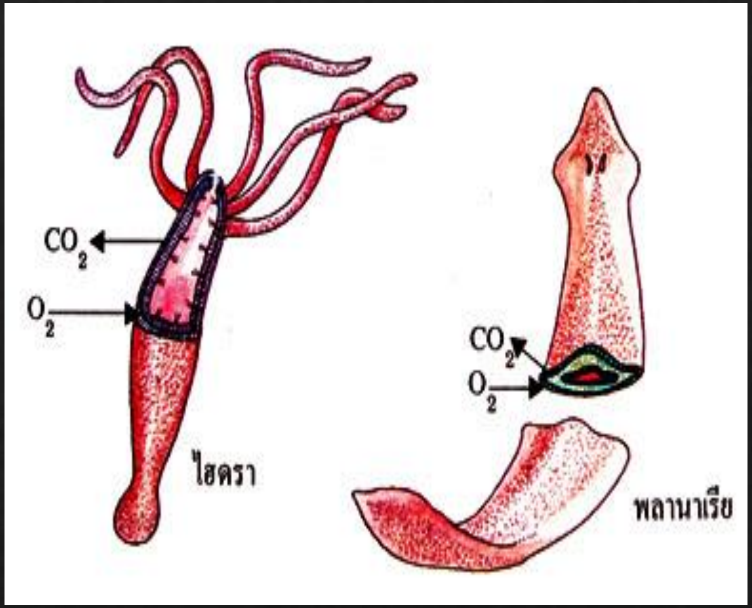


Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

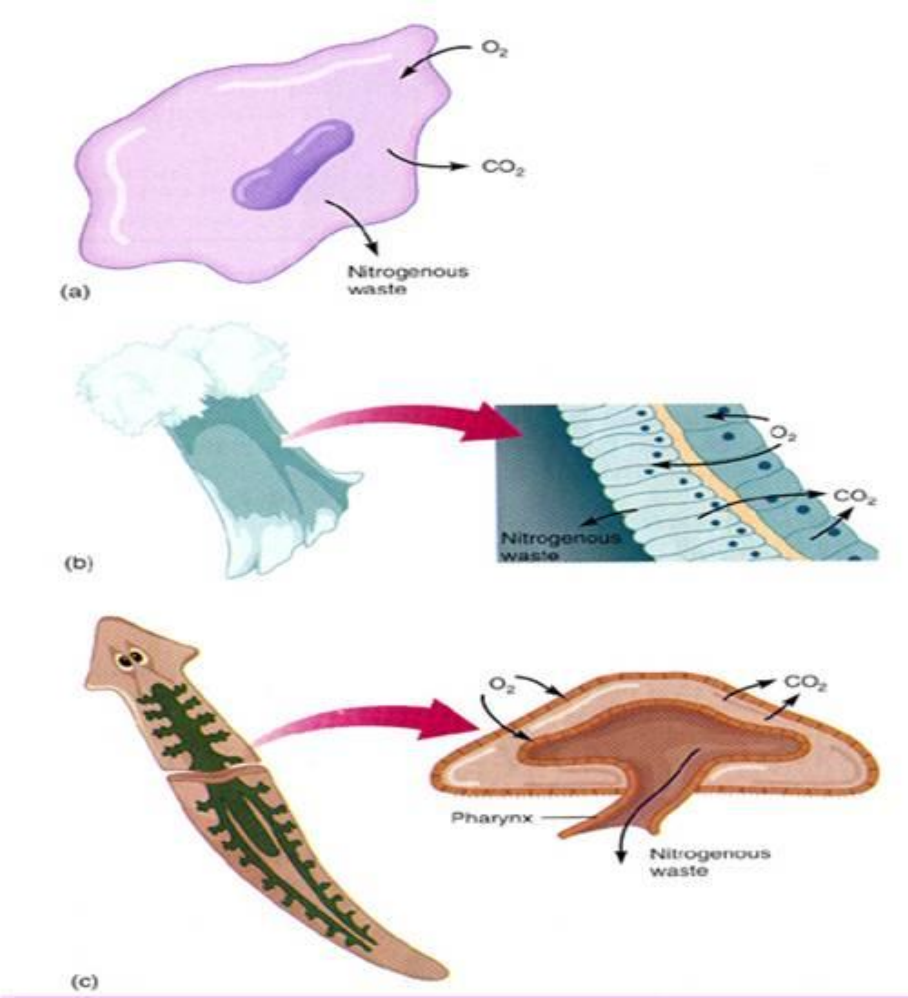
Planaria

(หนอนตัวแบนชนิดอื่นๆ)

ไม่มีระบบหายใจ มีเซลล์หลายชั้นแต่ไม่หนา จึงใช้วิธี **การแพร่ของแก๊สผ่านเข้าและออกเยื่อหุ้มเซลล์** เหมือนกันกับพวกไฮดรา แต่พลานาเรียมีลำตัวแบนบาง ทำให้มีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนแก๊สมากและเพียงพอ สำหรับความต้องการของร่างกาย



CO2
O2
ไฮดรา
CO2
O2
พลานาเรีย



O2
CO2
Nitrogenous waste
(a)
O2
CO2
Nitrogenous waste
(b)
O2
CO2
Pharynx
Nitrogenous waste
(c)

เหงือกปลา (fish gill)

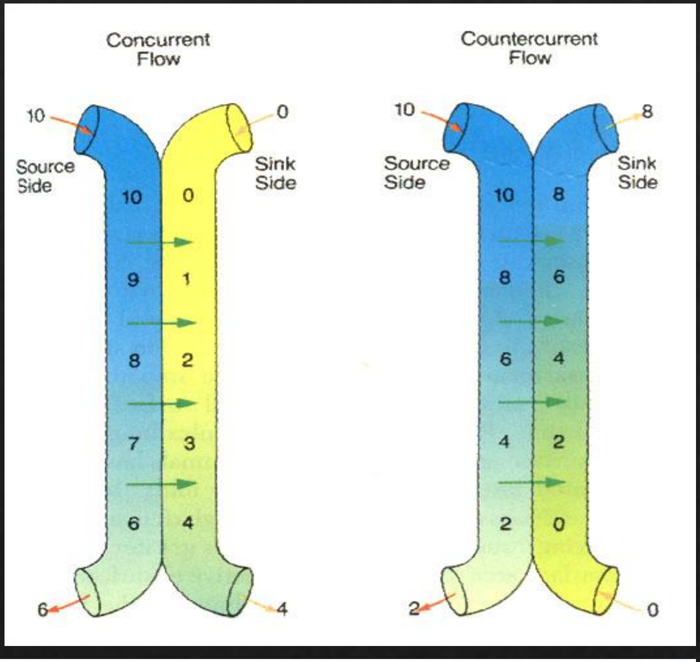
-น้ำไหลผ่านเหงือกโดย ผ่านเข้าทางปาก ช่องในคอหอย เหงือก และออกนอกตัวปลา

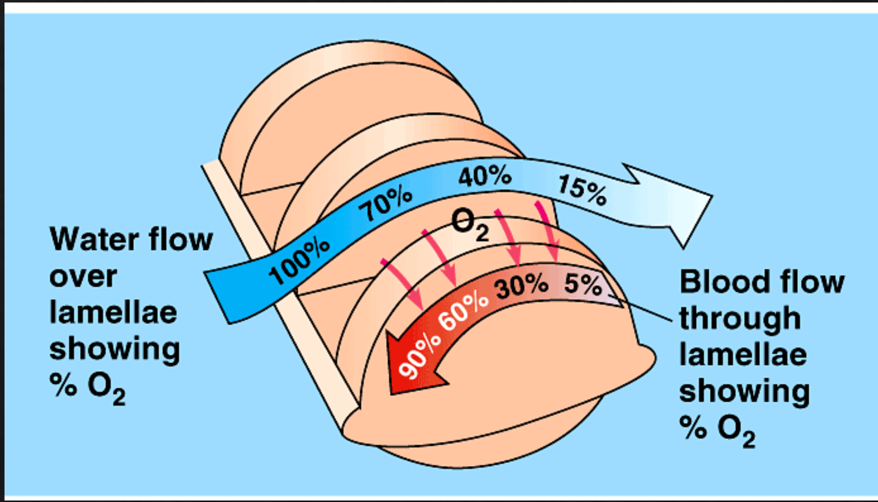
-เนื่องจากน้ำมีปริมาณ O_2 ต่ำ เพื่อให้สามารถดึงเอา O_2 ออกมาจากน้ำได้มาก เหงือกจึงมี
การจัดเรียงเส้นเลือดฝอยให้มีทิศทางการไหลของเลือดสวนทางกับกระแสน้ำ
เรียกว่า **countercurrent exchange**

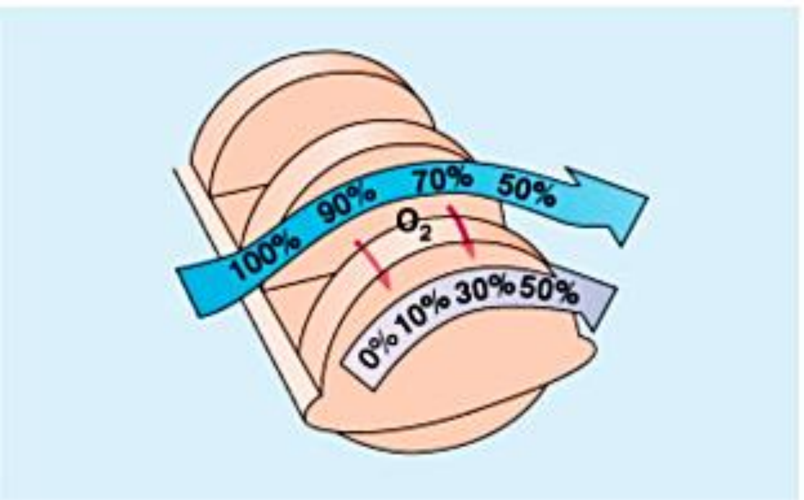
Countercurrent exchange

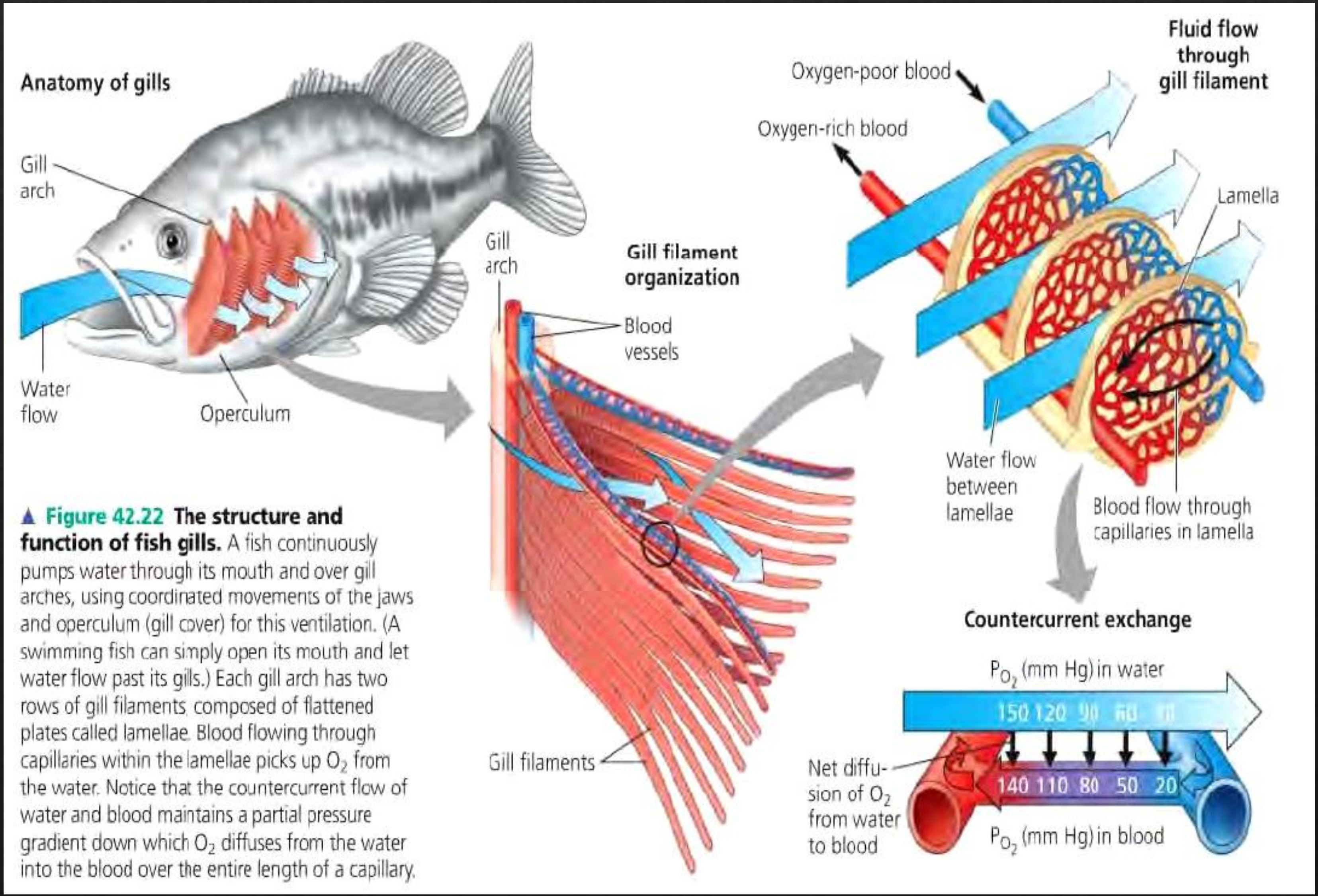
-countercurrent exchange เป็นวิธีการขนส่ง O_2จากน้ำสู่กระแสเลือดอย่างมีประสิทธิภาพ

-ขณะที่เลือดเคลื่อนผ่านเหงือก ปริมาณ O_2 ในกระแสเลือดเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณ O_2ในน้ำจะสูงกว่าเสมอ ตาม diffusion gradient O_2จะแพร่เข้าสู่กระแสเลือด









▲ **Figure 42.22 The structure and function of fish gills.** A fish continuously pumps water through its mouth and over gill arches, using coordinated movements of the jaws and operculum (gill cover) for this ventilation. (A swimming fish can simply open its mouth and let water flow past its gills.) Each gill arch has two rows of gill filaments, composed of flattened plates called lamellae. Blood flowing through capillaries within the lamellae picks up O_2 from the water. Notice that the countercurrent flow of water and blood maintains a partial pressure gradient down which O_2 diffuses from the water into the blood over the entire length of a capillary.

การแลกเปลี่ยนก๊าซผ่านผนังของเหงือกเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมาก โดยจะมีการเคลื่อนที่ของเลือดและน้ำผ่านคนละด้านของ lamellar epithelium โดยเคลื่อนที่ในทิศทางที่ตรงกันข้าม เช่น น้ำที่เคลื่อนที่ผ่านส่วนของเหงือกจะสัมผัสกับเส้นเลือดที่มีเลือดที่มีความเข้มข้นของ oxygen น้อย oxygen ที่อยู่ในน้ำมีความเข้มข้นสูงกว่าจึงเกิดการ diffusion ของ oxygen จากน้ำเข้าสู่กระแสเลือด carbon dioxide ก็จะเกิดการ diffusion จากเลือดออกสู่กระแสน้ำเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้น ขบวนการนี้ เรียกว่า countercurrent exchange สามารถเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพได้เนื่องจากการรักษาความแตกต่างของความเข้มข้น (concentration gradient) ระหว่างเลือดและน้ำ

กุ้ง (Prawn)

มีเหงือกที่ใช้ในการหายใจ เหงือกกุ้งมี 8 คู่ อยู่ข้างลำตัว มีแผ่นปิดเหงือก
น้ำไหลเวียนเข้าช่องเหงือกและเกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สที่เหงือก

ปลิงทะเล (Sea cucumber)

มีอวัยวะพิเศษที่ใช้ในการหายใจ 1 คู่ เรียกว่า **เรสไพราทอรี ทรี (respiratory tree)** มีลักษณะเป็นท่อยาวๆ ที่แตกแขนงมากมายคล้ายกิ่งไม้

หอย

หอยฝาเดี่ยว ในขั้นการเจริญเติบโตจะมีการบิดตัวโดยหันเหงือกจากด้านหลังมาไว้ด้านหน้า เพื่อรับน้ำสะอาดเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊ส

หอยสองฝา ใช้เหงือกซึ่งอยู่ในช่องแมนเทิลช่วยในการหายใจ โดยที่หอยสองฝาจะมีเหงือก 1 หรือ 2 คู่ ที่เหงือกจะมีเส้นเลือดฝอยจำนวนมาก ทำหน้าที่รับแก๊สออกซิเจน

หมึก --> ไม่มีเปลือก มีเหงือก 1 คู่ (Dibranchia) อยู่ภายในช่องตัว น้ำที่ไหลผ่านลำตัวจะถูกดันออกทางช่องไซฟอน (Siphon) ซึ่งมีประโยชน์ในการแลกเปลี่ยนแก๊สและการเคลื่อนที่

หอยงวงช้าง (nautilus) ซึ่งเป็นพวกที่มีเปลือก มีเหงือก 2 คู่หรือ 4 อัน (Tetrabranchia) อยู่ในช่องแมนเทิล

(a) Marine worm. Many polychaetes (marine worms of the phylum Annelida) have a pair of flattened appendages called parapodia on each body segment. The parapodia serve as gills and also function in crawling and swimming.

(b) Crayfish. Crayfish and other crustaceans have long, feathery gills covered by the exoskeleton. Specialized body appendages drive water over the gill surfaces.

(c) Sea star. The gills of a sea star are simple tubular projections of the skin. The hollow core of each gill is an extension of the coelom (body cavity). Gas exchange occurs by diffusion across the gill surfaces, and fluid in the coelom circulates in and out of the gills, aiding gas transport. The surfaces of a sea star's tube feet also function in gas exchange.

ปริมาณออกซิเจนในน้ำมีน้อยกว่าในอากาศมาก น้ำจืด 1 ลิตรที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส จะมีออกซิเจนอยู่เพียง 7 ลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนในน้ำเค็มจะมีอยู่เพียง 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ความดัน อุณหภูมิและความเค็มของน้ำด้วย

ในอากาศ 1 ลิตรจะมีออกซิเจนอยู่ถึง 210 ลูกบาศก์เซนติเมตรนอกจากปริมาณออกซิเจนในน้ำต่ำแล้ว การแพร่ของออกซิเจนในน้ำยังช้ากว่าในอากาศหลายพันเท่า สัตว์น้ำจึงมีปัญหาในการได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ สัตว์น้ำที่หายใจด้วยเหงือก จึงต้องปรับตัว โดยการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้น้ำผ่านเหงือกอยู่ตลอดเวลา เช่น

ปลาจะโผล่ขึ้นมา ฮุบน้ำเข้าปาก และระบายน้ำออกทางเหงือก

ด้วงดิ่งเป็นแมลงปีกแข็ง อาศัยอยู่ในน้ำจะเก็บอากาศไว้ใต้ปีกคู่หน้าเป็นต้น

2. การแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์ที่อาศัยอยู่บนบก

Respiratory medium เป็นอากาศ

ข้อดี : 1. อากาศมีปริมาณ O_2 สูงกว่าในน้ำ (อากาศ = 21% น้ำ = 0.004%)

2. การแพร่ของ O_2 และ CO_2 ในอากาศเกิดได้เร็วกว่าในน้ำ และใช้พลังงานน้อยกว่า

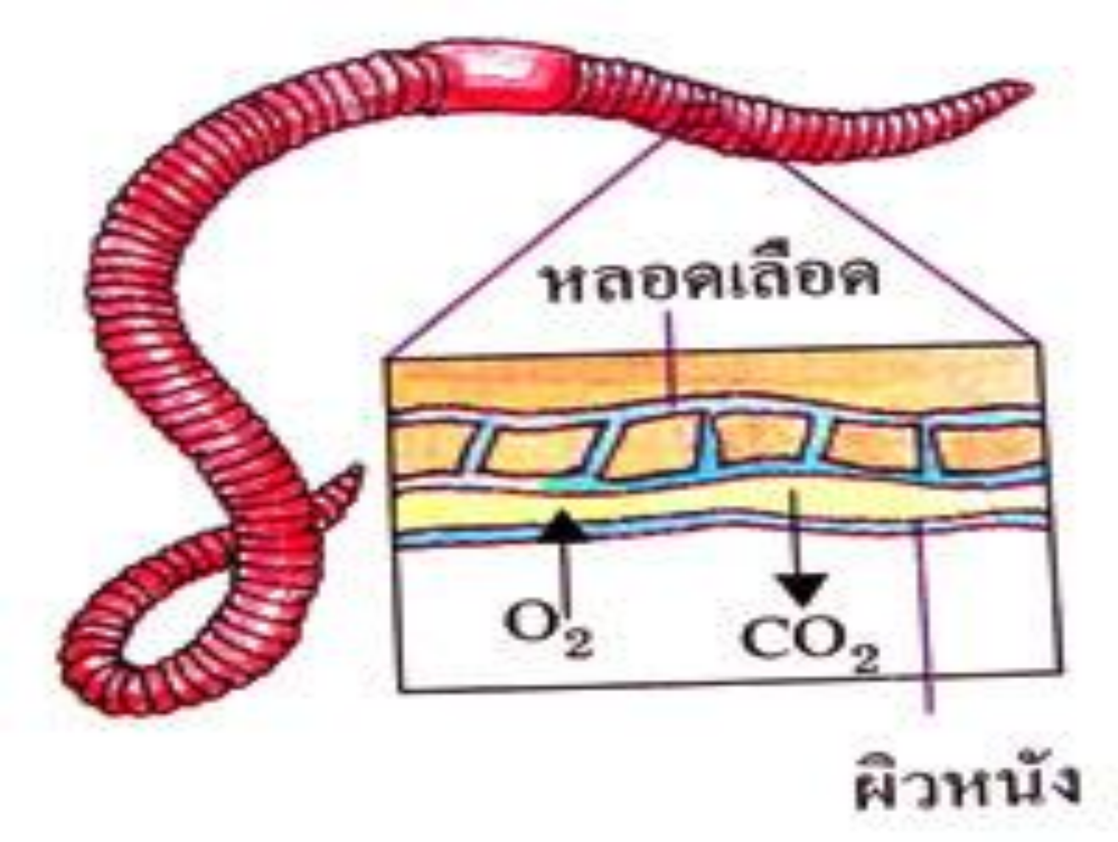
ข้อเสีย : 1. เนื่องจาก respiratory surface ที่มีเนื้อที่มากและชื้น จึงมักจะสูญเสียน้ำโดยการระเหยได้ง่าย

ดังนั้นสัตว์บกจึงต้องพัฒนาให้ respiratory surface มีการพับไปมาอยู่ภายในร่างกายและเปิดออกสู่บรรยากาศภายนอกทางท่อเล็ก ๆ เท่านั้น

ไส้เดือนดิน (Earthworm)

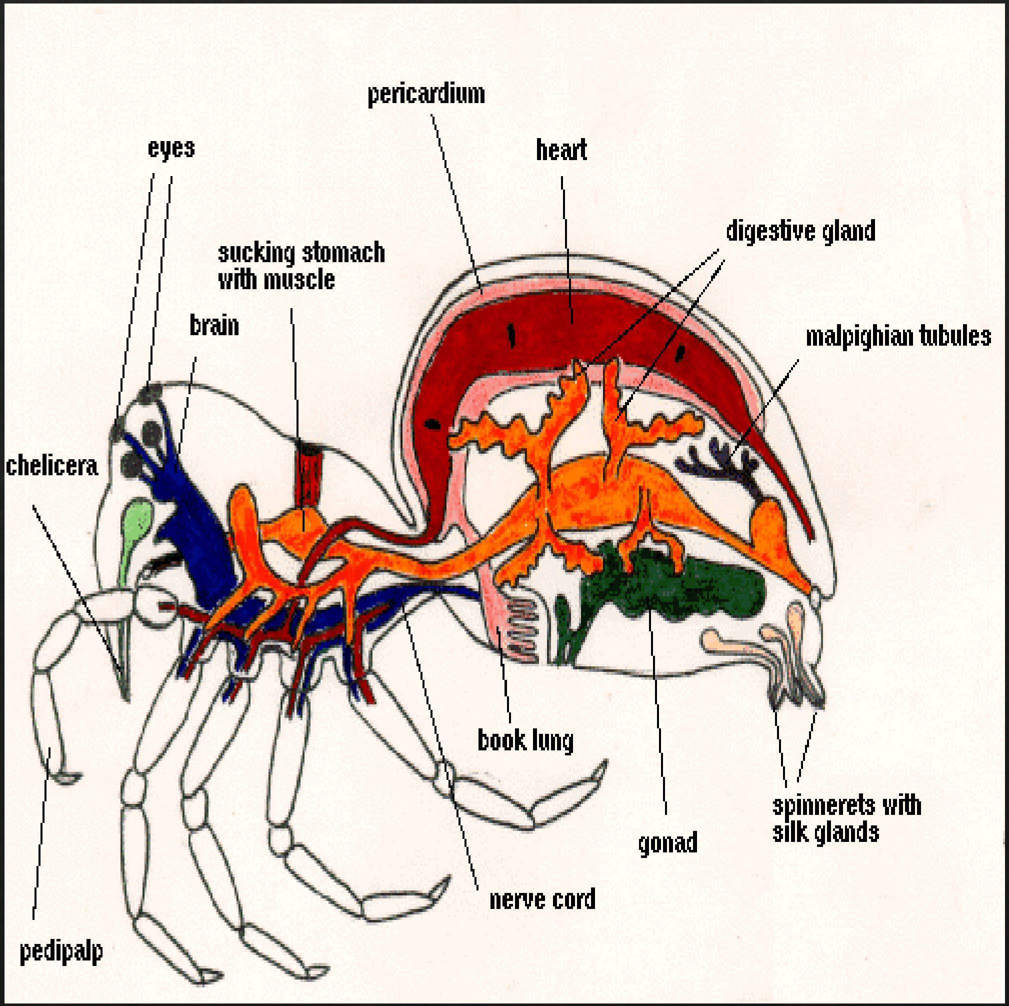
ใช้ ผิวลำตัว ในการแลกเปลี่ยนแก๊ส เซลล์ต่อมที่ผิวและของเหลวจากช่องลำตัวทำให้ผิวลำตัวของไส้เดือนดินเปียกชุ่มอยู่เสมอ O_2 ในอากาศจะละลายน้ำที่เคลือบอยู่ที่ผิวลำตัวแพร่เข้าสู่เส้นเลือดฝอยที่กระจายอยู่ใต้ผิวหนังของไส้เดือน แล้ว O_2 จะถูกลำเลียงไปยังเซลล์ต่างๆ ของร่างกายโดยระบบหมุนเวียนเลือด ขณะเดียวกันก็นำ CO_2 จากเซลล์ทั่วตัวมาแพร่ออกสู่อากาศภายนอกลำตัว

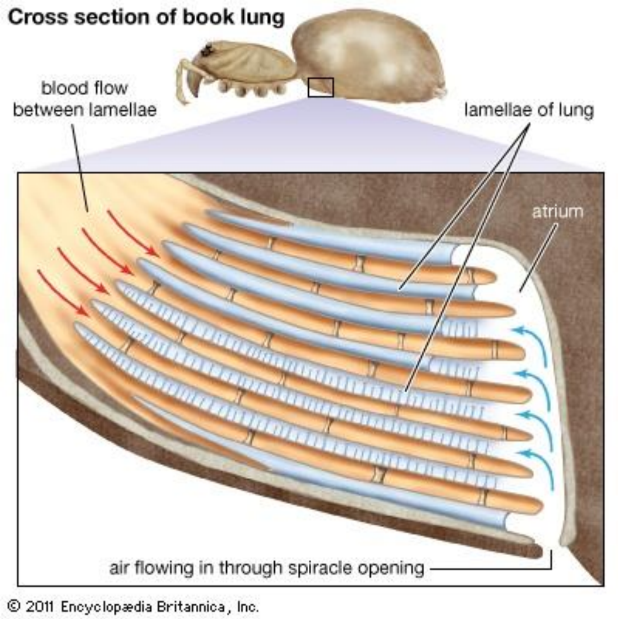
การแลกเปลี่ยนแก๊สของไส้เดือน



แมงมุม (Spider)

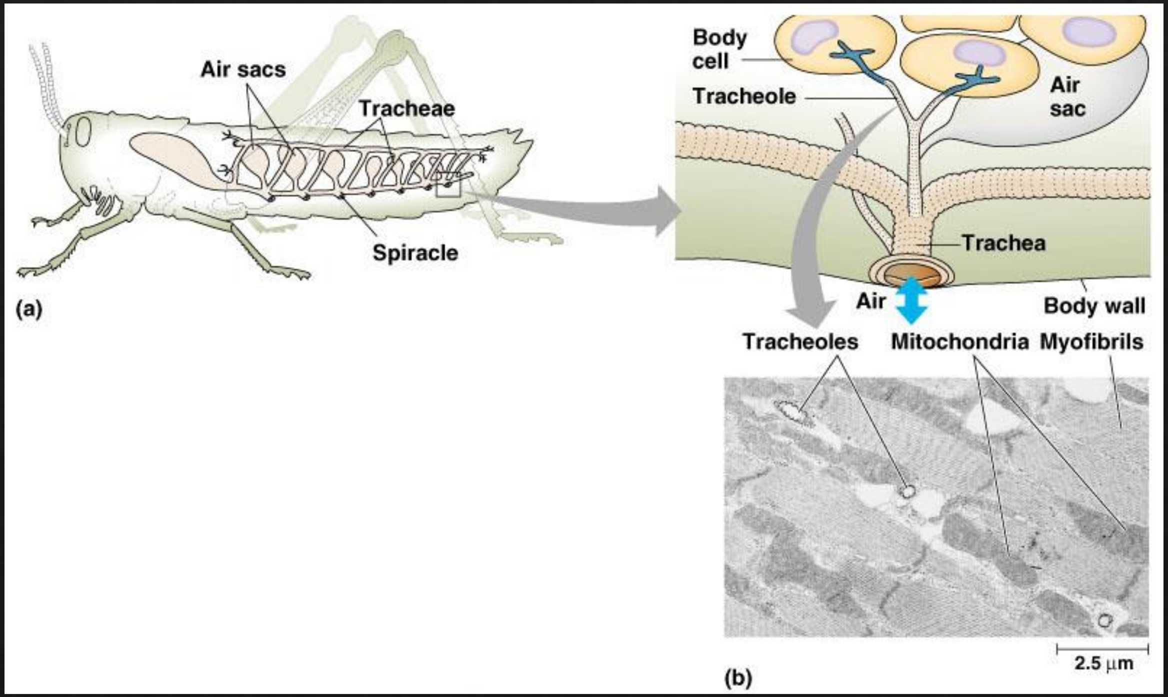
ใช้ บุค ลังหรือปอดแผง (book lung) เป็นอวัยวะในการหายใจ ปอดแผง ประกอบไปด้วยเซลล์ร่างกาย เรียงตัวเป็นแผ่นบางๆซ้อนกันหลายชั้นพับซ้อนอยู่ในช่องว่างของร่างกาย ช่องว่างนี้จะมีรูเปิด เรียกว่า รูหายใจ แผ่นเซลล์บางๆ เหล่านี้จะต้องเปียกชื้นอยู่เสมอ เพื่อทำหน้าที่เป็นแหล่งแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับเซลล์และรับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมากำจัด


pericardium
eyes
heart
digestive gland
sucking stomach
with muscle
brain
malpighian tubules
chelicera
book lung
gonad
spinnerets with
silk glands
nerve cord
pedipalp


Cross section of book lung
blood flow
between lamellae
lamellae of lung
atrium
air flowing in through spiracle opening
© 2011 Encyclopædia Britannica, Inc.

แมลง (Insect)

- ใช้ระบบท่อลม (tracheal system)ประกอบด้วย รูเปิด สไปเรเคิล (spiracle) ที่บริเวณส่วนอก และส่วนท้อง ท่อลม (trachea) และท่อลมย่อย (tracheoles) ซึ่งจะแพร่กระจายอยู่ทั่วทุกส่วนลำตัวของแมลง ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแก๊ส



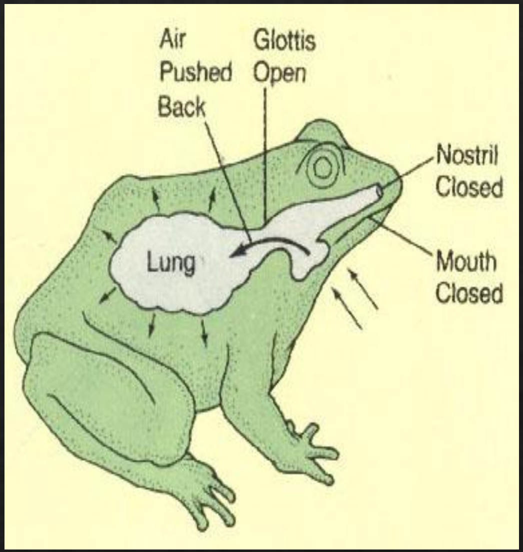
ขณะหายใจลำตัวของแมลงมีการเคลื่อนไหวและขยับอยู่เสมอ ทำให้อากาศถูกปั๊มให้ไหลเข้าและไหลออกทาง spiracle และเข้าสู่ถุงลม (air sac) อยู่ภายในช่องท้องมีจำนวนมากและถุงลมช่วยในการสำรองอากาศไว้ใช้ขณะบิน เมื่ออากาศผ่านเข้าสู่ถุงลมแล้วจึงผ่านไปตามท่อลมและท่อลมย่อยซึ่งมีผนังบางปลายของท่อลมย่อยเล็กๆ จะมีของเหลวบรรจุอยู่ช่วยให้แก๊สออกซิเจนละลายได้ และทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สได้ดี ดังนั้น ระบบลำเลียงเลือดของแมลงจึงไม่ค่อยมีความสำคัญต่อการหายใจมากนัก เพราะเนื้อเยื่อได้รับ O_2 จากท่อลมย่อยได้โดยตรง

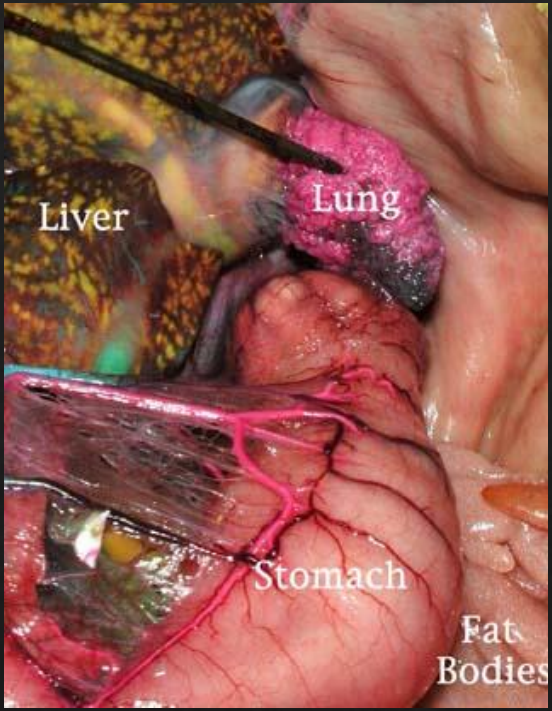
แมลงขนาดใหญ่หรือบินได้ ที่ต้องการ O_2 ปริมาณมาก การหด-คลายตัวของกล้ามเนื้อขณะเคลื่อนไหวจะช่วยในการขนส่ง O_2

กบ (Frog)

ขณะที่เป็นตัวอ่อนเรียกว่า ลูกอ๊อด อาศัยอยู่ในน้ำ ใช้เหงือกที่อยู่ภายนอกตัว (external gill) ในการหายใจ แต่เมื่อกบเจริญเติบโตขึ้น เหงือกจะหดหาย แล้วเปลี่ยนมาใช้ปอดและผิวหนังในการหายใจแทน

ทางเดินหายใจของกบประกอบด้วยรูจมูก 1 คู่ โพรงจมูก รูจมูกภายใน 1 คู่ โพรงปาก คอหอย ช่องลมหรือ กลอททิส (glottis) ปอดของกบห้อยอยู่ภายช่องในลำตัว ผนังด้านในของปอดจะย่น ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนแก๊สได้มากขึ้น ที่ปอดมีเส้นเลือดฝอยมาหล่อเลี้ยงจำนวนมากเพื่อช่วยในการแลกเปลี่ยนและลำเลียงแก๊ส กบไม่มีหลอดลม ไม่มีกระบังลม ไม่มีซี่โครงและ ไม่มีกล้ามเนื้อกระดูกซี่โครง จึงมีการหายใจต่างจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม


Air
Pushed
Back
Glottis
Open
Nostril
Closed
Mouth
Closed
Lung

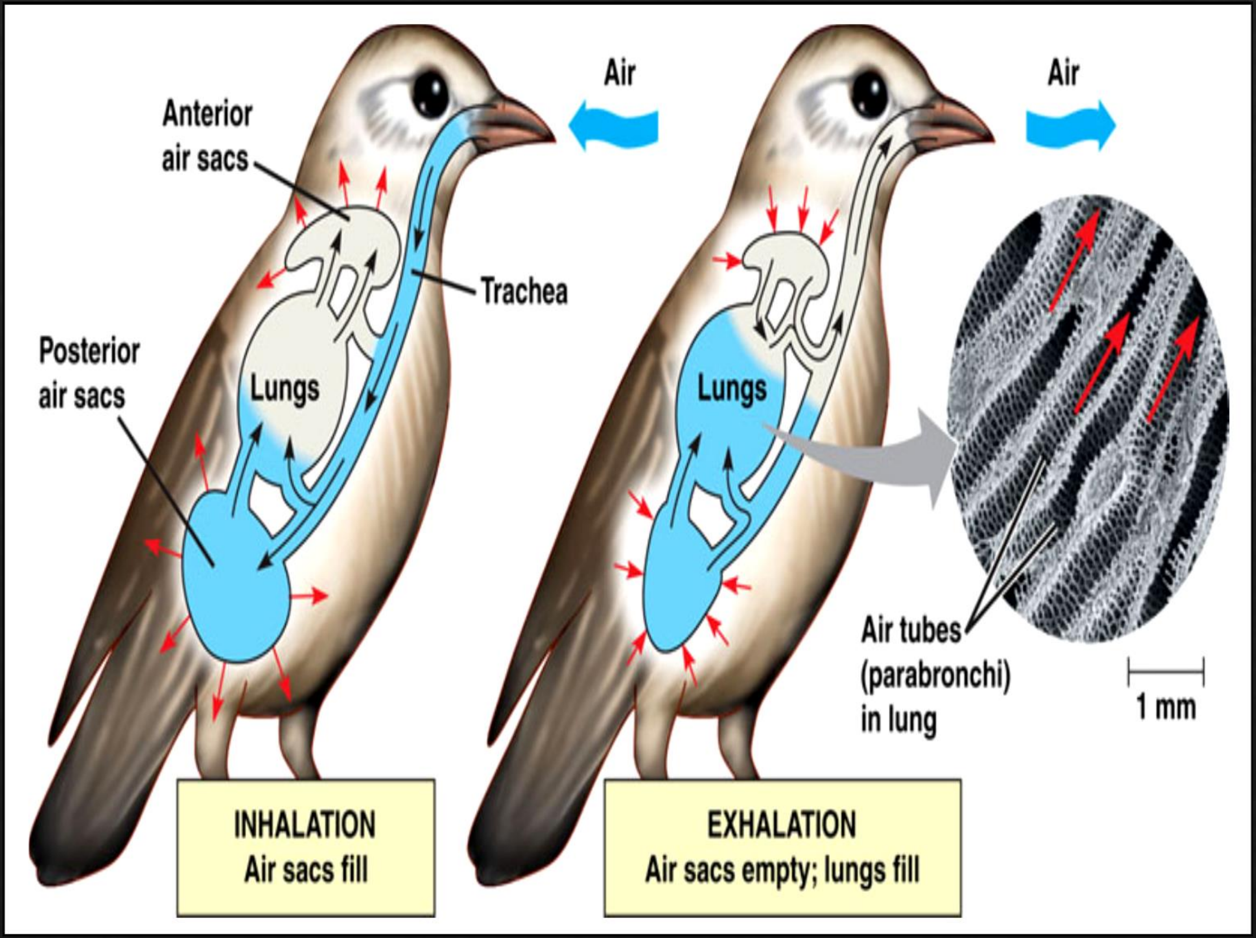

Liver
Lung
Stomach
Fat
Bodies

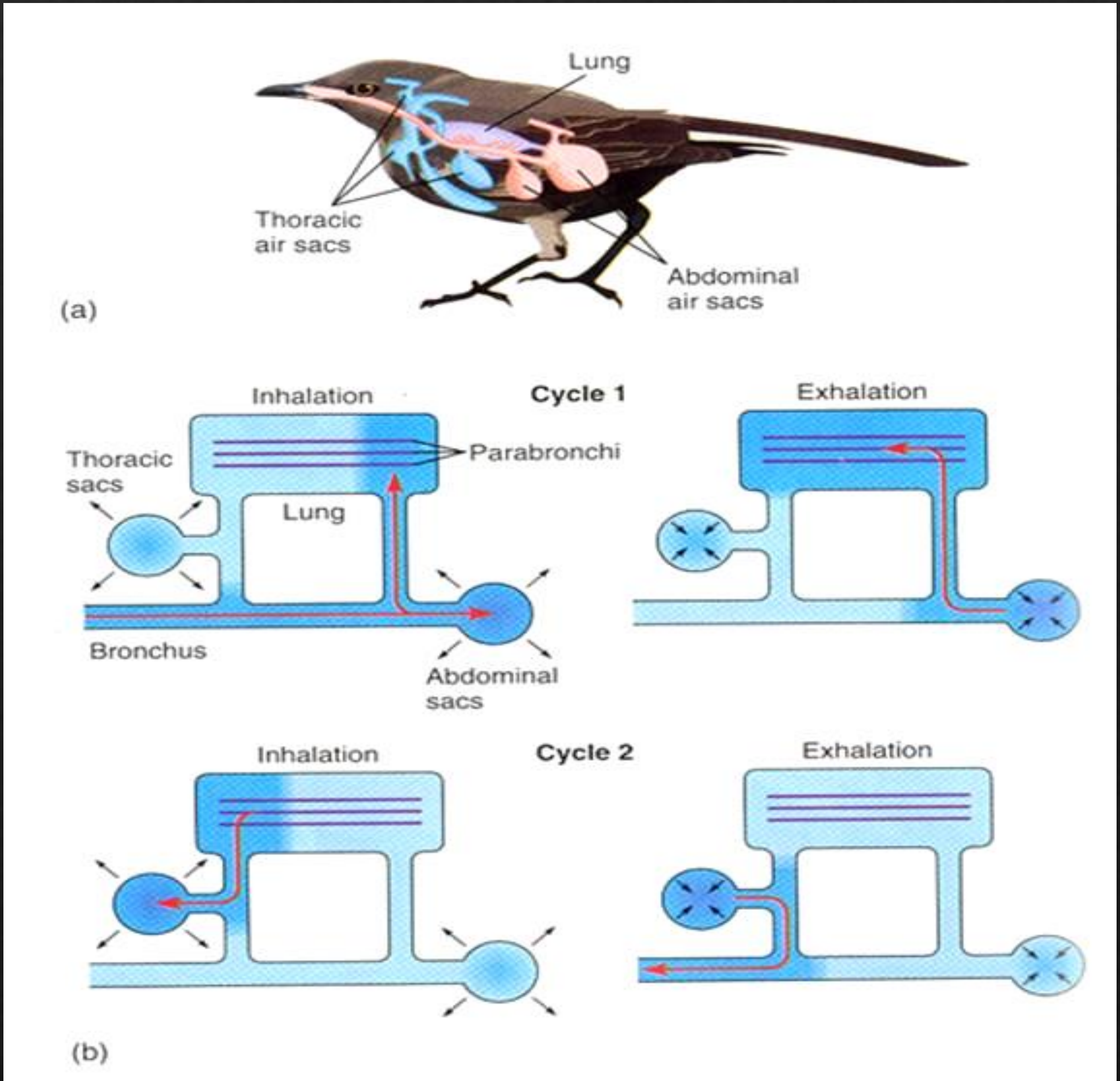
นก (Bird)

มีขบวนการพิเศษที่ช่วยในการนำอากาศเข้าสู่ปอดโดยวิธีการให้มีการแลกเปลี่ยนก๊าซผ่านพื้นผิวในทิศทางเดียว โดยมีโครงสร้างและการทำงานของถุงลมที่เอื้อต่อการทำงานในลักษณะนี้ ซึ่งจะทำให้ปอดสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า

ปอดของสัตว์ปีกจะมีช่องทางเดินของอากาศที่เรียกว่า parabronchi ซึ่งจะเป็นทางเดินเพื่อนำอากาศเข้าไปสู่ air capillary ที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซ

ถุงลมในสัตว์ปีกสามารถที่จะโป่งออก หรือแฟบลงโดยอาศัยการบีบตัวของกล้ามเนื้อที่อยู่โดยรอบ อากาศที่ถูกนำเข้าจะผ่านปอดและเข้าไปสู่ถุงลมที่อยู่บริเวณท้อง (posterior air sac) ต่อจากนั้นอากาศจะเคลื่อนที่ผ่านปอดไปยัง anterior air sac การเคลื่อนที่ของอากาศทั้งหมดต้องใช้การหายใจ 2 วงจร


Air
Anterior air sacs
Trachea
Posterior air sacs
Lungs
INHALATION
Air sacs fill
Air
Lungs
Air tubes (parabronchi) in lung
1 mm
EXHALATION
Air sacs empty; lungs fill



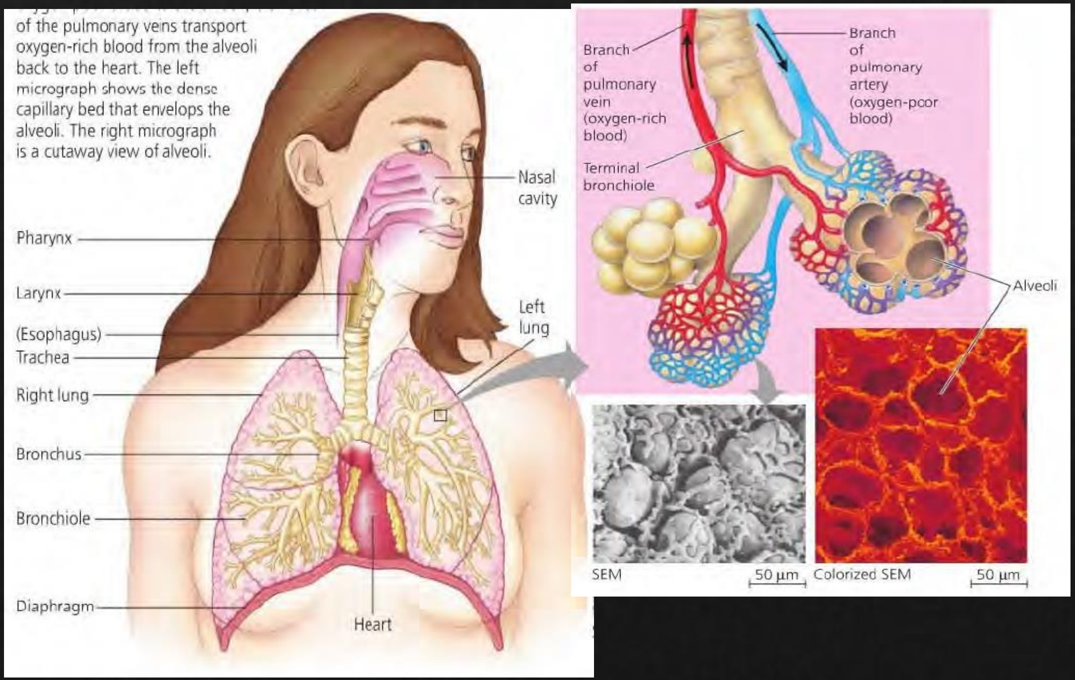
Lung
Thoracic
air sacs
Abdominal
air sacs
(a)
Inhalation
Cycle 1
Exhalation
Parabronchi
Thoracic
sacs
Lung
Bronchus
Abdominal
sacs
Inhalation
Cycle 2
Exhalation
(b)

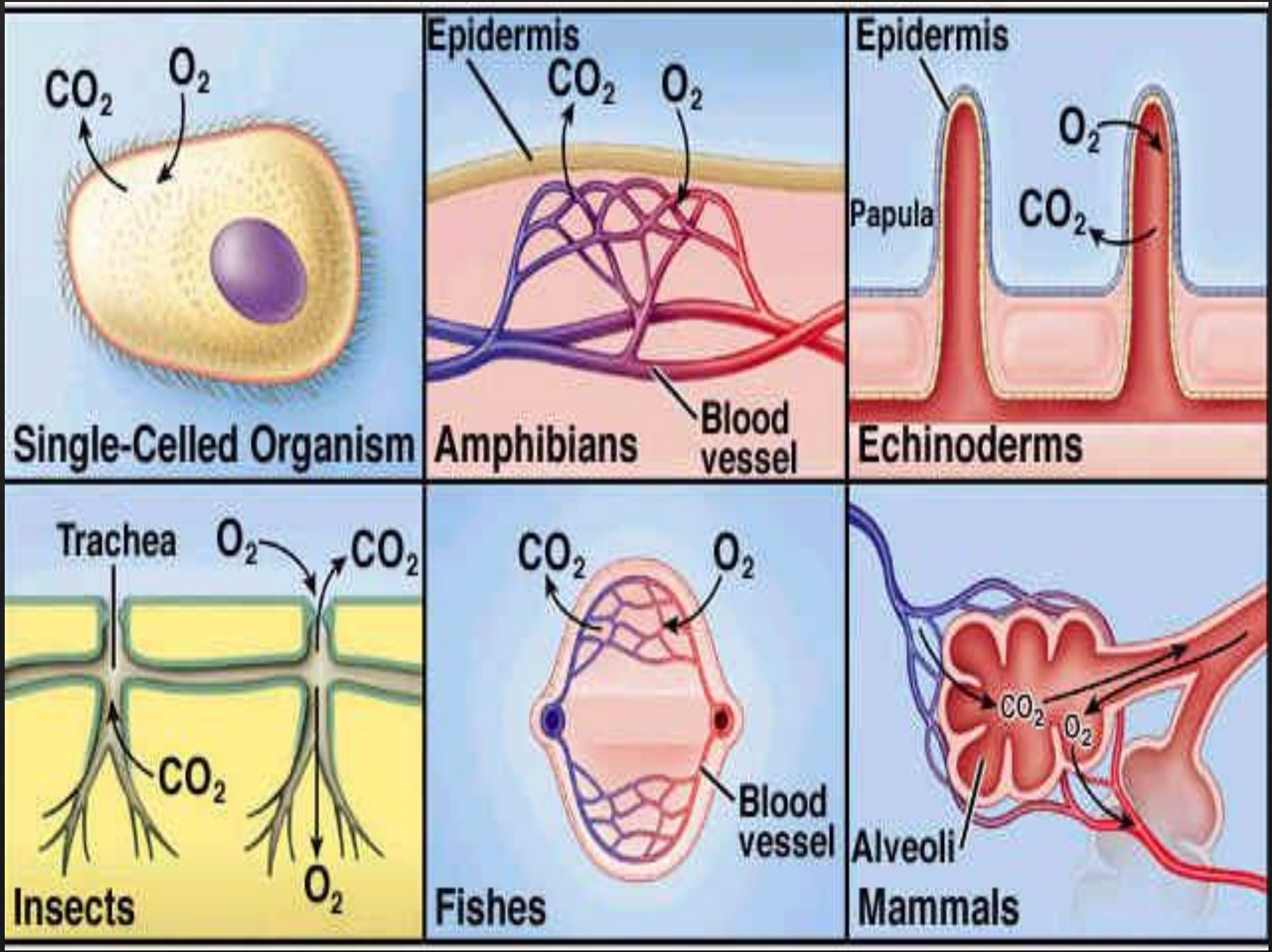
สัตว์เลื้อยคลาน (reptile)

มีผิวหนังที่หนาและอาจมีเกล็ดหรือกระดองปกคลุมอยู่ด้วย สัตว์เลื้อยคลานหายใจด้วยปอด สัตว์เลื้อยคลานมีหลอดลม กระดูกซี่โครง และกล้ามเนื้อขยายช่องอกและท้อง จึงทำให้ปอดขยายตัวและหดตัว เกิดการหายใจเข้าและหายใจออกสลับกันอยู่เสมอ ปอดของสัตว์เลื้อยคลานมีขนาดใหญ่และกว้างมากจึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สได้อย่างพอเพียง

สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม (mammal)

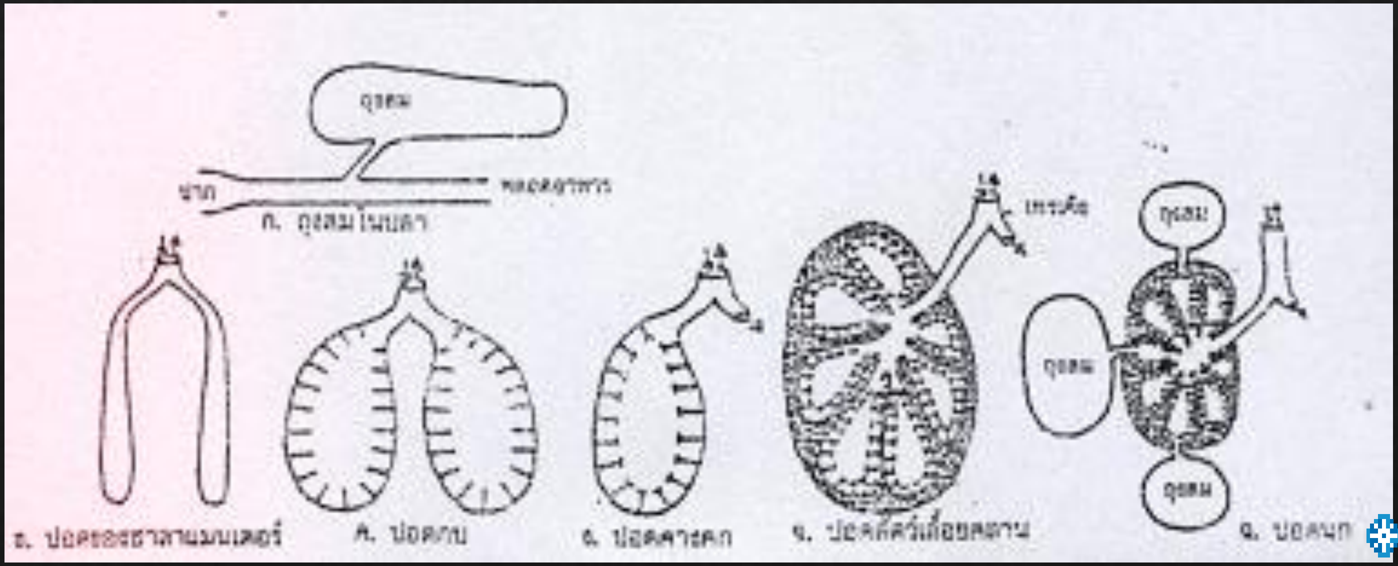
มีระบบหายใจดีมาก มีถุงลมเล็กๆ ที่เรียกว่า อัลวีโอลัส (alveolus) มีกล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อกระดูกซี่โครงช่วยในการหายใจ ทำให้อากาศเข้าและออกปอดได้เป็นอย่างดี





CO_2
O_2
Single-Celled Organism
Epidermis
CO_2
O_2
Amphibians
Blood vessel
Epidermis
O_2
Papula
CO_2
Echinoderms
Trachea
O_2
CO_2
CO_2
O_2
Insects
CO_2
O_2
Blood vessel
Fishes
CO_2
O_2
Alveoli
Mammals

ปอดของสัตว์มีกระดูกสันหลังจะมีวิวัฒนาการเพิ่มพื้นที่ผิวของปอดให้มากขึ้น โดยการแบ่งผิวด้านในเป็นกระเปาะ มีรอยพับซ้อนเล็กๆจำนวนมาก และมีเส้นเลือดที่พื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนแก๊ส



ส่วนประกอบของระบบทางเดินหายใจของคน

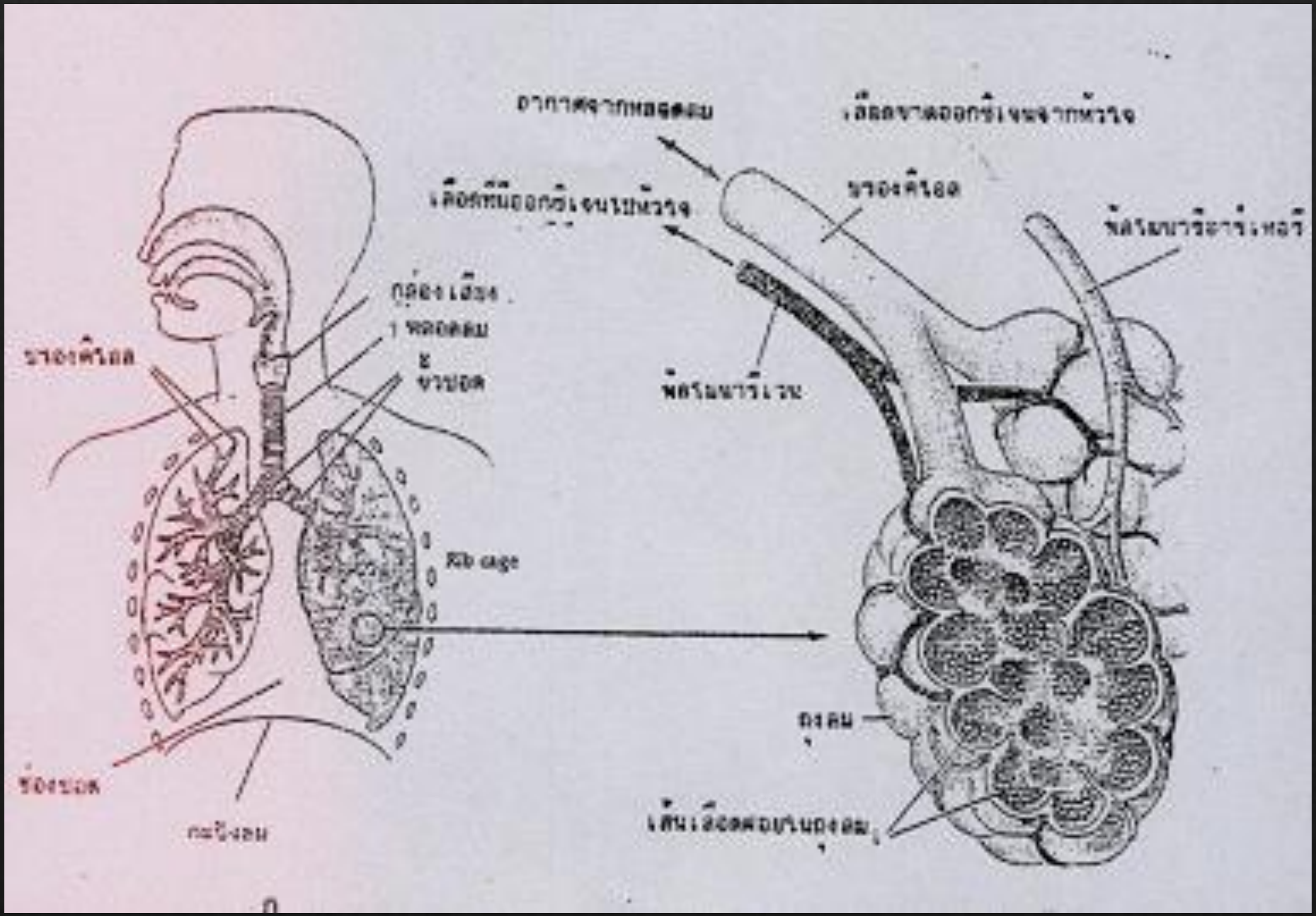
1. ส่วนนำอากาศเข้าสู่ร่างกาย (conducting division) มีอวัยวะที่ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของอากาศเข้าสู่ส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนแก๊ส โดยเริ่มตั้งแต่ รูจมูก (nostril) โพรงจมูก (nasal cavity) คอหอย (pharynx) กล่องเสียง (larynx) หลอดลมคอ (trachea) หลอดลมหรือบรอนคัส (bronchus) หลอดลมฝอยหรือบรอนคิโอล (bronchiole) หรือเทอร์มินอลบรอนคิโอล (terminal bronchiol)

2. ส่วนที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแก๊ส (respiratory division) เป็นส่วนของหลอดลมฝอยที่ต่อจากเทอร์มินอลบรอนคิโอล คือเรสไพราทอรีบรอนคิโอล ซึ่งจะมีการโป่งพองออกเป็นถุงลมย่อย (pulmonary alveoli) ซึ่งทำให้แลกเปลี่ยนแก๊สได้ สำหรับส่วนที่ต่อจากเรสไพราทอรีบรอนคิโอลจะเป็นท่อถุงลม (alveolar duct) ถุงลม (alveolar sac) และถุงลมย่อย (alveoli หรือ pulmonary alveoli) ซึ่งอยู่ปลายสุด

ระบบทางเดินหายใจ

จมูกและปาก ต่อถึงคอหอยและหลอดลมได้ อากาศผ่านเข้ารูจมูกแล้วจะเข้าสู่โพรงจมูก ซึ่งมีขนเส้นเล็กๆ และต่อมน้ำมันช่วยในการกรองและจับฝุ่นละอองไม่ให้ผ่านลงสู่ปอด ที่โพรงจมูกมีเยื่อโพรงจมูกหนาช่วยให้อากาศที่เข้ามามีความชุ่มชื้นและมีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากมีเส้นเลือดจำนวนมากที่อยู่ใต้เยื่อผิวของโพรงจมูก ถ้าหากเป็นหวัดนานๆ เชื้อหวัดอาจทำให้เยื่อบุโพรงจมูกอักเสบและทำให้ปวดศีรษะ เรียกว่าเป็นไซนัสหรือไซนัสอักเสบ

ในจมูกมีบริเวณซึ่งเรียกว่า ออลแฟกทอรี แอเรีย (olfactory area) ทำหน้าที่รับกลิ่น โดยมีเซลล์เยื่อบุผิวซึ่งเปลี่ยนแปลงไปทำหน้าที่เฉพาะ เรียกว่าออลแฟกทอรีเซลล์ (olfactory cell) ซึ่งมีพื้นที่ 10 ตารางเซนติเมตร มีขนาดลดลงเมื่อมีอายุมากขึ้น จึงทำให้คนแก่รับกลิ่นต่าง ๆ ได้น้อยลง


อากาศจากหลอดลม
กล่องเสียง
หลอดลม
Rib cage
ถุงลม
เส้นเลือดฝอยบนถุงลม
กระบังลม

อากาศเข้าและออกจากปอดได้อย่างไร

ปกติการหายใจประกอบด้วย การหายใจเข้าและหายใจออก แต่ละจังหวะของการหายใจ มีการขยายตัวและการหดตัวของปอด ซึ่งเกิดจากการหดตัวและการคลายตัวของกล้ามเนื้อสำหรับหายใจ

กลไกในการสูดลมหายใจเข้า - ออก

การหายใจเข้า (Inspiration)

เกิดได้โดยการทำงานร่วมกันของกะบังลม กล้ามเนื้อระหว่างซี่โครง และกระดูกซี่โครง คือ

1. กะบังลมหดตัว จะขึงตึงแบนราบ เป็นการช่วยเพิ่มปริมาตรของช่องอกในแนวดิ่ง

2. กล้ามเนื้อระหว่างซี่โครงแถบนอกหดตัว แถบในคลายตัว ทำให้กระดูกซี่โครงยกตัวสูงขึ้นทำให้มีการดันตับ กระเพาะอาหาร และลำไส้ลงไปด้านล่าง และยื่นออกมาทางด้านหน้า ท้องจึงป่องขึ้น

3. ผลจากข้อ 1. และ 2. ทำให้ช่องรอบปอดขยายกว้างขึ้น ความดันในช่องปอดลดต่ำลง ปอดขยายตัวออก ความดันในปอดลดต่ำกว่าความดันของอากาศภายนอก อากาศภายนอกจึงดันไหลเข้าสู่ปอด

การหายใจออก (Expiration)

เกิดจากการทำงานของส่วนต่างๆ ดังนี้

1. กะบังลมคลายตัวจะโค้งเป็นรูปโดมกลับเข้าตำแหน่งเดิม

2. กล้ามเนื้อระหว่างซี่โครงแถบในหดตัว และแถบนอกคลายตัวทำให้กระดูกซี่โครงลดระดับต่ำลง

3. ผลจากข้อ 1. และ 2. ทำให้ช่องปอดเล็กลง มีความดันสูงขึ้นจึงไปกดดันปอดให้แฟบ ความดันในปอดจึงสูงขึ้นกว่าอากาศภายนอก เป็นเหตุให้ดันเอาอากาศภายในปอดออกมาข้างนอก

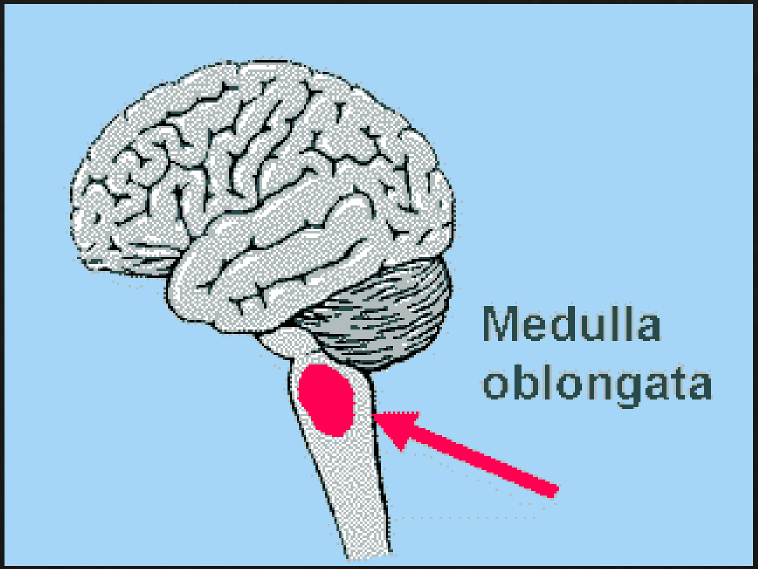
การหายใจเข้าและออกมีศูนย์กลางของประสาทคอยควบคุมอยู่ เรียกว่า Respiratory center ซึ่งแฝงอยู่ในสมองส่วนท้าย คือ เมดุลลา ออบลองกาตา (Medulla oblongata) ศูนย์นี้ควบคุมอัตราการสูดลมหายใจเข้าออก โดยการกระตุ้นของปริมาณ CO_2 ในเลือด นอกจากนี้ส่วนควบคุมการหายใจยังอยู่ที่สมองส่วนท้ายที่เรียกว่า พอนส์ (Pons)

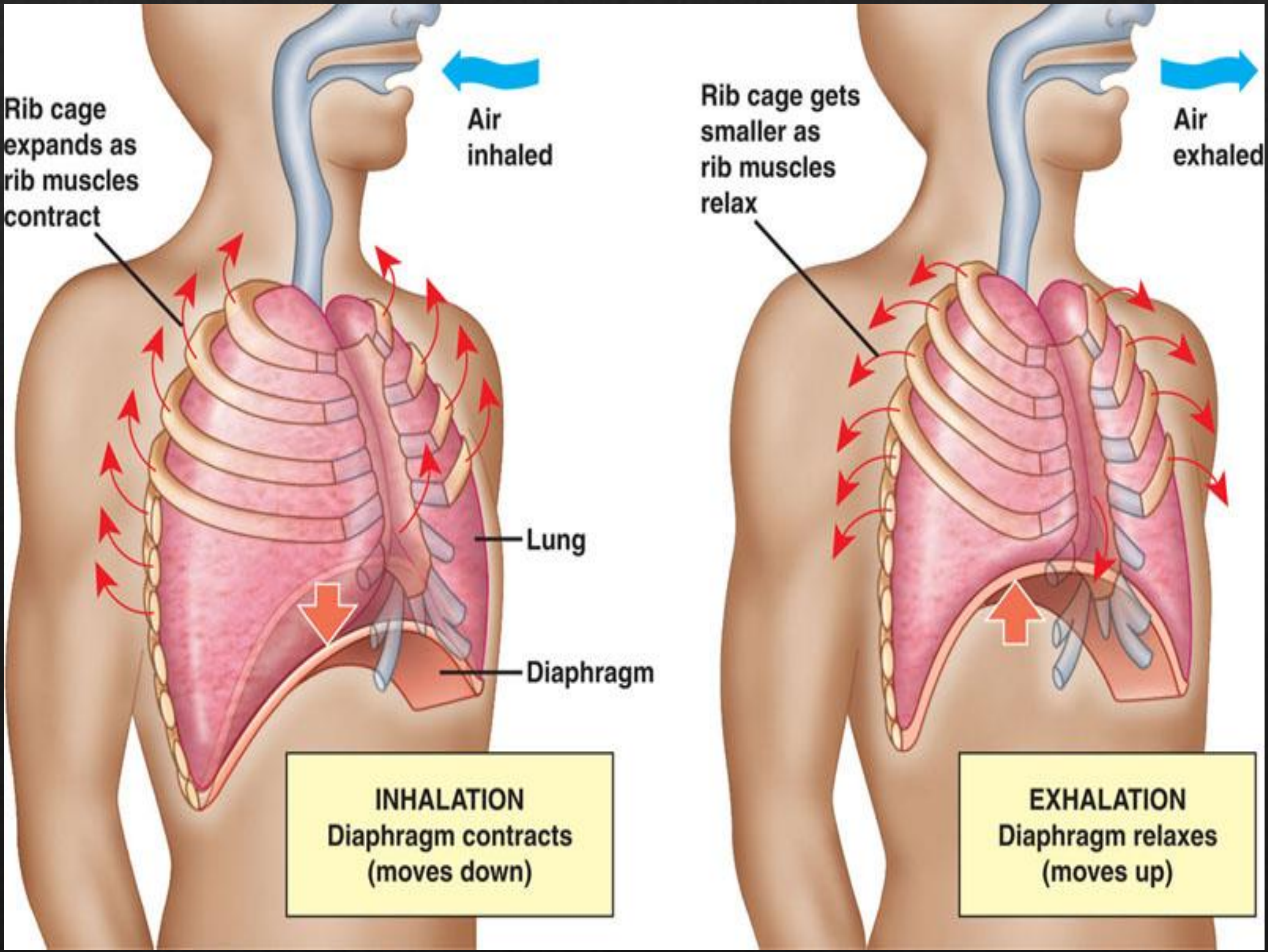
- กะบังลมและกล้ามเนื้อยึดระหว่างซี่โครง เป็นกล้ามเนื้อลายที่ทำงาน นอกอำนาจจิตใจ (Involuntary)

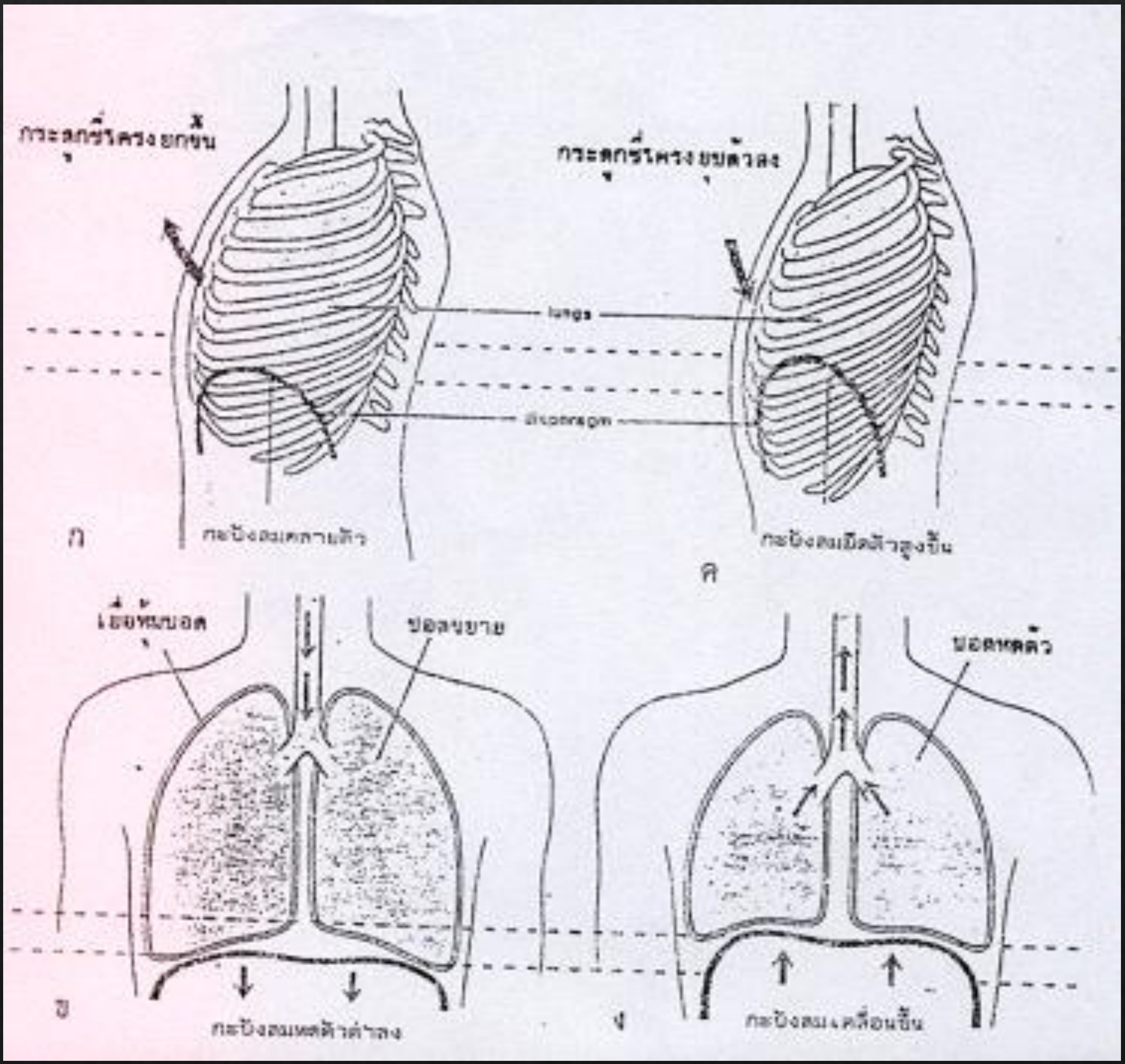
  - กล้ามเนื้อท้อง เป็นกล้ามเนื้อช่วยในการหายใจออก สำคัญที่สุด

  - การหายใจเข้ามี CO_2 เป็นตัวกระตุ้นศูนย์ควบคุมการหายใจ (Medulla oblongata)

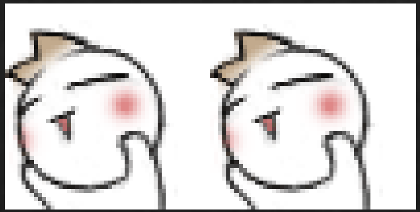
  - การหายใจออก จะเกิดจากกระแสประสาทส่งกลับมาจากปอดที่แฟบไปกระตุ้นศูนย์ควบคุมการหายใจเข้าให้หายใจออก ซึ่งกลไกทั้งสองเกิดโดยอัตโนมัติ




Rib cage expands as rib muscles contract
Air inhaled
Rib cage gets smaller as rib muscles relax
Air exhaled
Lung
Diaphragm
INHALATION
Diaphragm contracts (moves down)
EXHALATION
Diaphragm relaxes (moves up)


กระดูกซี่โครงยกขึ้น
กระดูกซี่โครงยุบตัวลง
lungs
ก
กะบังลมยืดตัวสูงขึ้น
ค
เยื่อหุ้มปอด
ปอดขยาย
ปอดหดตัว
ข
กะบังลมหดตัวต่ำลง
ง
กะบังลมเคลื่อนขึ้น

อากาศที่หายใจเข้าประกอบด้วย O_2 ประมาณร้อยละ 20.96 CO_2 ประมาณร้อยละ 0.04 อากาศที่หายใจออกมี O_2 ร้อยละ 13.2 CO_2 ประมาณร้อยละ 5.3 ส่วนไนโตรเจนไม่ถูกนำไปใช้ในการหายใจจึงคงมีประมาณร้อยละ 79 ดังนั้นการหายใจเข้าและออกจะมีการได้รับ O_2 ไปเลี้ยงเซลล์ต่างๆ ประมาณร้อยละ 8 และมีการขจัด CO_2 ออกจากร่างกายประมาณร้อยละ 5



จำนวนครั้งในการหายใจประมาณ 16 – 20 ครั้งต่อนาที มีการระบายอากาศออกได้ประมาณ 8 – 10 ลิตร หากออกกำลังกายอย่างหนัก การหายใจอาจเพิ่มเป็น 50 ครั้งต่อนาทีได้ จึงมีการระบายอากาศออกได้มากกว่า 20 ลิตร

การแลกเปลี่ยนแก๊ส

1. แก๊ส O_2 ในถุงลมปอด มีความดันประมาณ 100 มิลลิเมตรของปรอท จะแพร่เข้าสู่เลือดดำ (deoxygenated blood) ซึ่งมีความดันแก๊สออกซิเจนต่ำกว่าในถุงลมปอด คือ ประมาณ 40 มิลลิเมตรของปรอท ทำให้เลือดดำเปลี่ยนเป็นเลือดแดง (oxygenated blood) ซึ่งมีความดันแก๊ส O_2 ประมาณ 95 มิลลิเมตรของปรอท

ขณะเดียวกันแก๊ส CO_2 จากเลือดดำ ซึ่งมีความดันประมาณ 46 มิลลิเมตรของปรอท ก็แพร่เข้าสู่ถุงลมปอดซึ่งมีความดันแก๊ส CO_2 ต่ำกว่า คือประมาณ 40 มิลลิเมตรของปรอท เป็นเลือดแดงที่มีแรงดันแก๊ส CO_2 ประมาณ 40 มิลลิเมตรของปรอท

2. แก๊ส O_2 ภายในเลือดแดง ซึ่งมีความดันประมาณ 95 มิลลิเมตรของปรอท จะแพร่เข้าสู่เนื้อเยื่อซึ่งมีความดันแก๊ส O_2 ต่ำกว่า คือ น้อยกว่า 30 มิลลิเมตรของปรอทและเปลี่ยนจากเลือดแดงเป็นเลือดดำ ซึ่งมีความดันแก๊ส O_2 ประมาณ 40 มิลลิเมตรของปรอท

ขณะที่แก๊ส CO_2 ในเนื้อเยื่อซึ่งมีความดันสูงกว่า 56 มิลลิเมตรของปรอท จะแพร่เข้าสู่เลือดแดง ซึ่งมีความดันแก๊ส CO_2 ประมาณ 40 มิลลิเมตรของปรอท เป็นเลือดดำที่มีความดันแก๊ส CO_2 เป็นประมาณ 46 มิลลิเมตรของปรอท

การลำเลียงแก๊สในร่างกาย

1. การลำเลียงแก๊สออกซิเจน (O_2)

O_2 เมื่อเข้าสู่เลือดแล้วจะถูกขนส่งโดยเลือดไปยังเซลล์และเนื้อเยื่อได้ 2 ทาง คือ การจับกับฮีโมโกลบิน O_2 และการละลายในน้ำเลือดและน้ำในเซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งการจับกับฮีโมโกลบินมีบทบาทสำคัญที่สุด เพราะสามารถนำออกซิเจนไปได้มากกว่าการละลายในเลือดถึง 30-100 เท่านั้น คือ ถ้าร่างกายไม่มีฮีโมโกลบินก็จำเป็นจะต้องมีเลือดเพิ่มขึ้นอีก 30-100 เท่า จึงจะเพียงพอในการนำออกซิเจนไปใช้

1.1 การละลายในเลือด O_2 จะละลายในเลือดได้เพียงร้อยละ 3 ซึ่งน้อยมากไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงต้องใช้การขนส่งออกซิเจนวิธีอื่น ซึ่งการละลายขึ้นอยู่กับแรงดันของแก๊ส O_2 ในเลือด

1.2 การจับกับฮีโมโกลบิน (hemoglobin, Hb) ซึ่งอยู่ในเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบินจะจับออกซิเจนได้ประมาณร้อยละ 97 ออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงเป็นออกซีฮีโมโกลบิน (Oxyhemoglobin) จะมีสีแดงสดเมื่อเลือดที่มีออกซิเจนสูงไหลเวียนจากปอดกลับสู่หัวใจ และไปถึงเนื้อเยื่อร่างกาย ก็จะเกิดการแพร่ของออกซิเจนจากเลือดสู่เนื้อเยื่อ เนื่องจากความดันที่ต่างกัน เมื่อฮีโมโกลบินปล่อยออกซิเจนไปแล้วก็จะกลับมามีสีแดงคล้ำ

O_2 ที่จับกับฮีโมโกลบินจะถูกปล่อยให้กับเซลล์และถูกเซลล์นำไปใช้ได้ถึง 5 cm^3/100 cm^3 ของเลือด ดังนั้นการขนส่งโดยน้ำเลือด จึงมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับการขนส่งโดยฮีโมโกลบิน

สภาวะที่มีการออกกำลังกายอย่างหนัก ฮีโมโกลบินจะนำ O_2 เพิ่มได้ถึง 15 เท่า

ฮีโมโกลบินมีสมบัติที่จะรวมตัวหลวมๆกับ O_2 ดังสมการ

$Hb + O_2 \rightleftharpoons HbO_2$ หรือ $Hb + 4\ O_2 \rightleftharpoons 4HbO_2$

ถ้ามี O_2 มากเกินพอ ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางขวา ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดในเส้นเลือดฝอยในปอด ออกซีฮีโมโกลบิน (HbO_2) จะเกิดขึ้นที่เส้นเลือดฝอยในปอด

เมื่อ HbO_2 มาถึงเนื้อเยื่อ ปฏิกิริยาในสมการจะเกิดไปทางซ้าย เซลล์มี O_2 น้อยกว่าในเลือด ดังนั้น HbO_2 จะปล่อย O_2 เป็นอิสระออกมาจึงเกิด Hb อิสระอีกครั้งหนึ่ง และ O_2 อิสระจะถูกเนื้อเยื่อนำไปใช้

ฮีโมโกลบินยังสามารถลำเลียง CO ได้ดังสมการ

$$Hb + CO \rightleftharpoons HbCO$$ คาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (carboxyhemoglobin)

การรวมตัวของ Hb กับ CO เกิดได้ง่ายกว่า O_2 และที่สำคัญจะไม่ย่อมปล่อย CO ออกมาง่ายๆดังนั้นถ้ามี CO อยู่ในบรรยากาศ Hb จะกลายเป็น HbCO มากกว่าที่จะเป็น HbO_2 ร่างกายขาด O_2 (anoxia) จนเป็นอันตรายถึงชีวิตได้

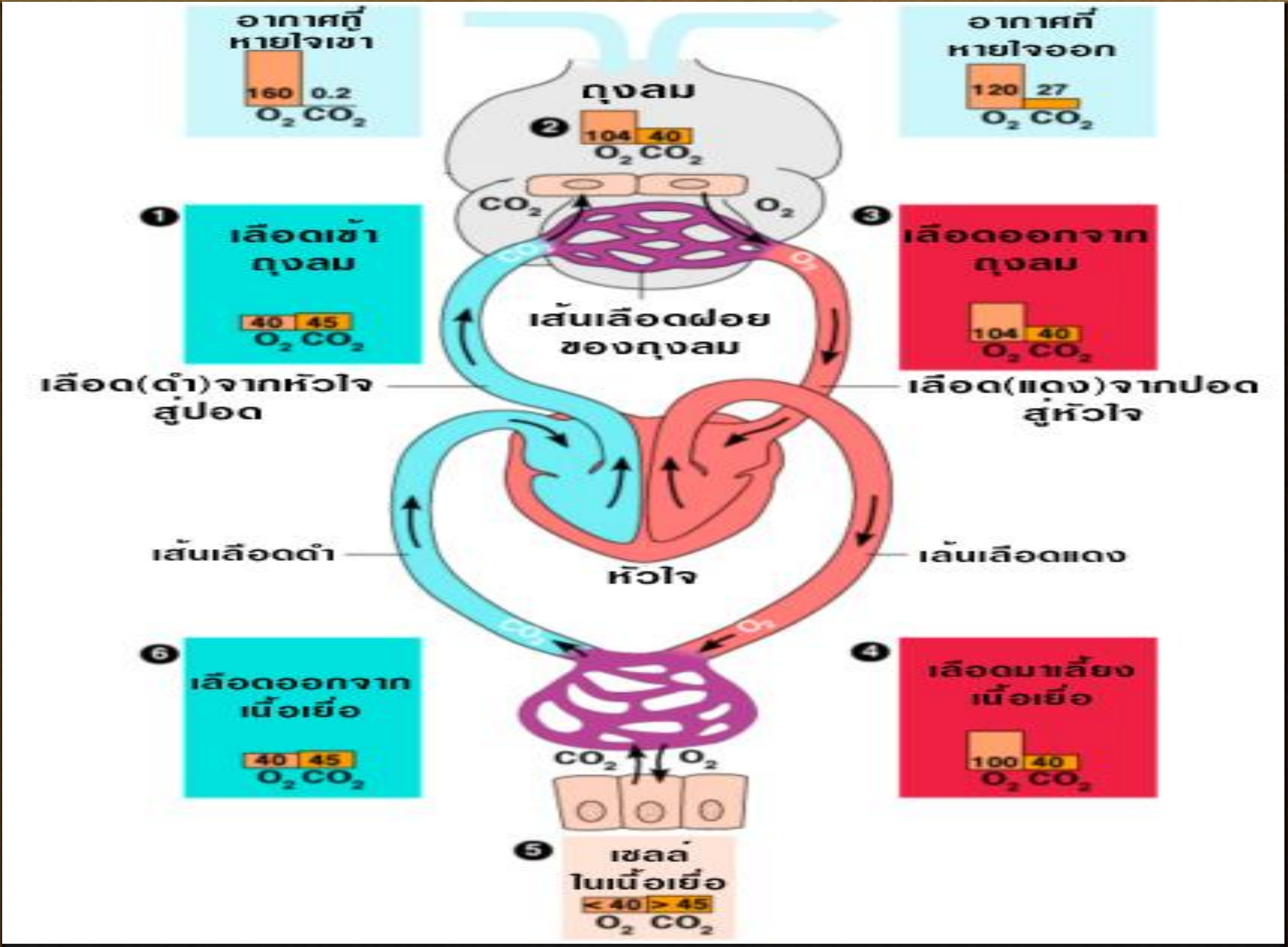
ปัจจัยที่มีผลต่อการรวมของออกซิเจนกับฮีโมโกลบิน

อุณหภูมิ

ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อำนาจการจับออกซิเจนของฮีโมโกลบินลดลง แต่ถ้าอุณหภูมิลดลงออกซิเจนจะจับกับฮีโมโกลบินได้มากขึ้น ดังนั้นกล้ามเนื้อที่มีการออกกำลังและอุณหภูมิสูงขึ้น ฮีโมโกลบินจะปล่อยออกซิเจนได้มาก เป็นประโยชน์แก่กล้ามเนื้อทำให้ดึงเอาออกซิเจนไปใช้ได้มากขึ้น

pH

เมื่อ pH ลดลง (เป็นกรดมากขึ้น) อำนาจการจับออกซิเจนของฮีโมโกลบินจะลดลง ถ้าเป็นด่างการจับออกซิเจนจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อกล้ามเนื้อมีการออกกำลัง ความดันของ CO_2 จะสูงขึ้น นั่นคือ pH ลดลง ฮีโมโกลบินก็จะปล่อย O_2 ให้กล้ามเนื้อได้มากขึ้น



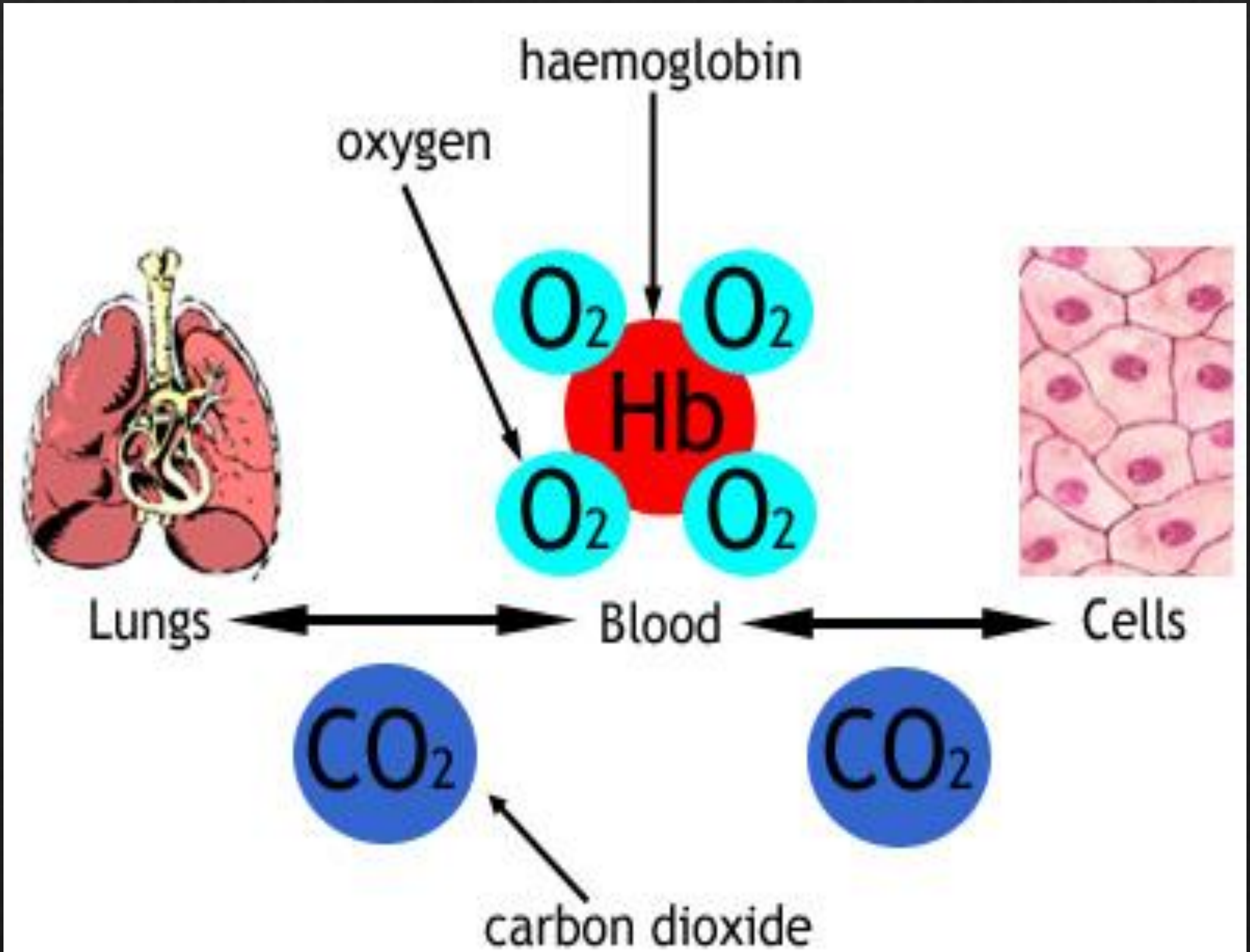
อากาศที่หายใจเข้า
160 0.2
O_2 CO_2
อากาศที่หายใจออก
120 27
O_2 CO_2
ถุงลม
2
104 40
O_2 CO_2
CO_2
O_2
1
เลือดเข้าถุงลม
40 45
O_2 CO_2
3
เลือดออกจากถุงลม
104 40
O_2 CO_2
เส้นเลือดฝอยของถุงลม
เลือด(ดำ)จากหัวใจสู่ปอด
เลือด(แดง)จากปอดสู่หัวใจ
เส้นเลือดดำ
เล้นเลือดแดง
หัวใจ
6
เลือดออกจากเนื้อเยื่อ
40 45
O_2 CO_2
4
เลือดมาเลี้ยงเนื้อเยื่อ
100 40
O_2 CO_2
CO_2
O_2
5
เซลล์ในเนื้อเยื่อ
< 40 > 45
O_2 CO_2

2. การลำเลียงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

หลังจากเนื้อเยื่อใช้ O_2 ก็จะปล่อย CO_2 ออกมา เนื่องจากความดัน CO_2 ที่ค่อนข้างสูง จึงแพร่ออกจากเซลล์ผ่านผนังของเส้นเลือดฝอยเข้าไปในเลือด การลำเลียงแก๊ส CO_2 จากเซลล์และเนื้อเยื่อไปยังปอด โดย CO_2 ส่วนใหญ่จะทำปฏิกิริยากับน้ำในเซลล์เม็ดเลือดแดงเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ซึ่งจะแตกตัวได้ไฮโดรเจนไอออนและไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน ลำเลียงออกสู่พลาสมาโดยวิธีการแพร่ CO_2 ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ดังนี้

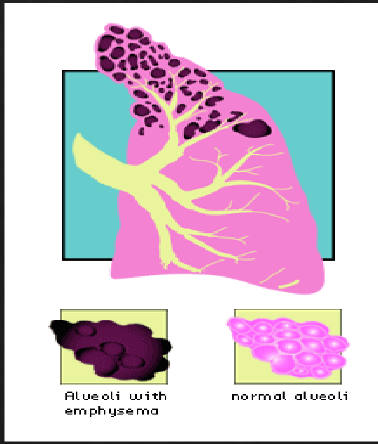
$$CO_2 + H_2O \underset{\text{ปอด}}{\overset{\text{เนื้อเยื่อ}}{\rightleftharpoons}} H_2CO_3 \overset{\text{เซลล์เม็ดเลือดแดง}}{\rightleftharpoons} H^+ + HCO_3^-$$

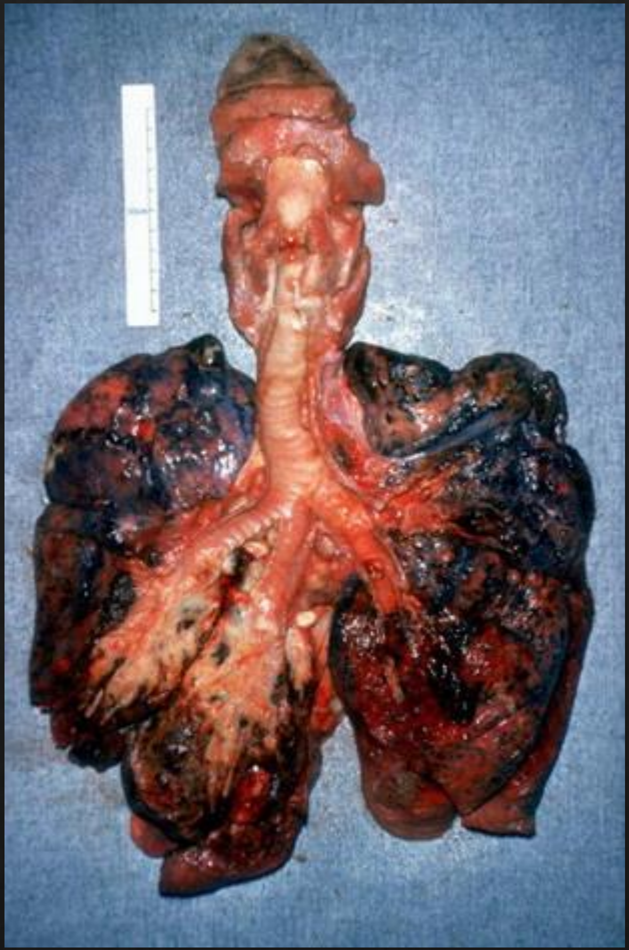
เมื่อเลือดที่มีไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออนและไฮโดรเจนไอออนมากไหลเข้าสู่หัวใจ เลือดจะสูบฉีดต่อไปยังหลอดเลือดฝอยรอบถุงลม ไฮโดรเจนไอออนและไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออนจะรวมกันได้เป็นกรดคาร์บอนิกแล้วจึงสลายตัวเป็น CO_2 และน้ำในเซลล์เม็ดเลือดแดง เป็นผลให้ความหนาแน่นของ CO_2 ในหลอดเลือดฝอยสูงกว่าในถุงลม จึงเกิดการแพร่ของ CO_2 จากหลอดเลือดฝอยเข้าสู่ถุงลม

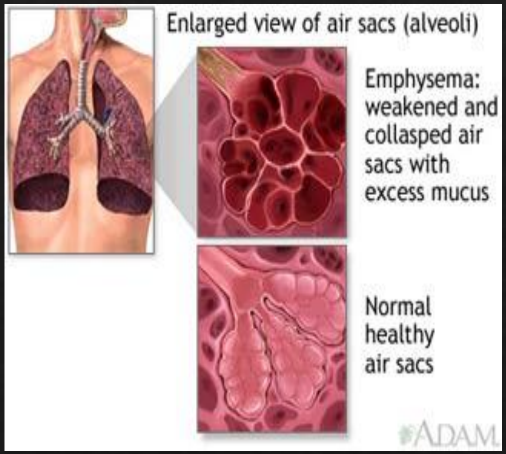

haemoglobin
oxygen
O_2
O_2
Hb
O_2
O_2
Lungs
Blood
Cells
CO_2
CO_2
carbon dioxide

โรคของระบบทางเดินหายใจ

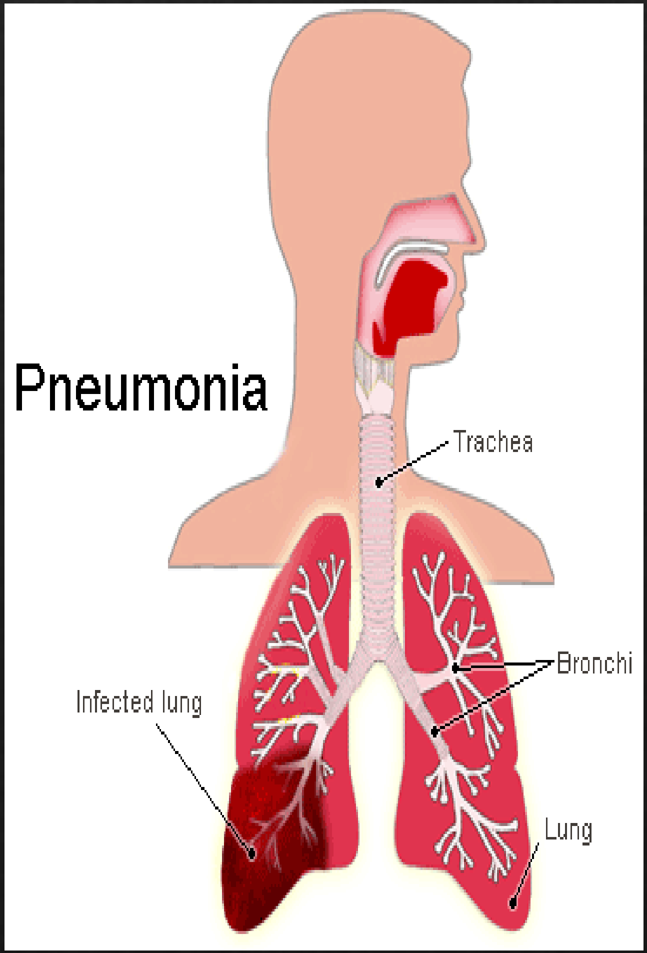
ถุงลมโป่งพอง (Emphysema)







โรคปอดบวม (Pneumonia)



มะเร็งปอด

Normal Lung
This is a lung from a middle-aged nonsmoker. The black specks represent the effects of city smog and are caused by tiny carbon particles which have filtered into the lungs through the years. This lung has been inflated with fluid so that it is shown in the position of normal inhalation—as it would appear after a deep breath. Note the smooth, regular contour of the normal lung.

Smoking
causes fatal lung cancer

ควันบุหรี่
มะเร็ง
ทำให้เกิด
ปอด

http://www.youtube.com/watch?v=ZwXxV0AjsGw

โครงสร้างการแลกเปลี่ยนแก๊ส

http://www.youtube.com/watch?v=GE7RMEX08eg

นิทานชีวิต การหายใจ

http://www.youtube.com/watch?v=wyI-ea4fbeU

บทที่ 6.1 ระบบหายใจ