**บทที่ 4**

**ระบบหายใจ**

**Respiratory system**

ระบบหายใจเกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนกันระหว่างก๊าซออกซิเจนจากอากาศที่หายใจเข้าไปในปอด กับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นของเสียจากขบวนการเมตาโบลิซึมของเซลล์ ซึ่งละลายอยู่ในน้ำเลือดที่ถุงลมปอด สาเหตุที่ต้องมีการแลกเปลี่ยนก๊าซเกิดขึ้นในร่างกาย เนื่องจากก๊าซออกซิเจนมีความสำคัญในขบวนการเมตาโบลิซึมของเซลล์ แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในเซลล์จัดเป็นของเสียหรือสารพิษ หากมีการสะสมมากๆในเซลล์จะทำให้เซลล์ตายได้ ร่างกายจึงจำเป็นต้องกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกโดยการหายใจออก หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนอาจถูกกำจัดออกทางไต และมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่อาจถูกเซลล์นำไปสังเคราะห์เป็นสารอินทรีย์อื่นๆต่อไปได้ แต่การขาดก๊าซออกซิเจนเพียงไม่กี่นาทีอาจทำให้เซลล์ตายได้ โดยเฉพาะเซลล์สมองซึ่งเป็นเซลล์ที่มีความรู้สึกไวต่อการขาดก๊าซออกซิเจนมาก ดังนั้นการหายใจ (respiration) จึงเป็นกิจกรรมในร่างกายของสิ่งมีชีวิตที่จะต้องเกิดขึ้นตลอดเวลา ในสภาพปกติไม่ว่าจะเป็นการหายใจเข้า หรือการหายใจออก จะเกิดขึ้นได้อย่างอัตโนมัติเช่นเดียวกับการเต้นของหัวใจ ค่าอัตราการหายใจในสัตว์แต่ละชนิดจะมีค่าที่คงที่แตกต่างกันออกไป ในโคมีอัตราการหายใจเท่ากับ 10-15 ครั้ง/นาที และในม้ามีอัตราการหายใจ 8-16 ครั้ง/นาที เป็นต้น ดังนั้นการตรวจเช็คอัตราการหายใจจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสุขภาพสัตว์ได้

**ระบบหายใจมีหน้าที่ คือ**

- นำก๊าซออกซิเจนเข้าสู่ร่างกาย และขับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากขบวนการเมตาโบลิซึมออกจากร่างกาย

- ควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการมีชีวิตอยู่ของสัตว์

- ช่วยกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับอากาศซึ่งสัตว์หายใจเข้ามาในร่างกาย เนื่องจากที่ผนังของถุงลมปอดมีเซลล์แมทโครฟาท (macrophage cell) และยังสามารถผลิตแอนติบอดี้ (antibodies) ที่ทำหน้าที่ต่อต้านเชื้อโรคได้

- เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสารแองกิโอแทนซิน I (angiotensin I) ซึ่งเป็นเอ็นไซม์ที่อยู่ในรูปที่ยังทำงานไม่ได้ (inactive form) โดยเปลี่ยนให้เป็นสารแองกิโอแทนซิน II (angiotensin II) ที่เป็นเอ็นไซม์อยู่ในรูปที่พร้อมจะทำงานได้ (active form)

- เกี่ยวข้องกับการควบคุมสมดุลของกรด-ด่างในเลือด หากเลือดมีสภาพเป็นด่าง (alkalosis) มากกว่าปกติ ร่างกายจะมีความสามารถขับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง แต่ในทางตรงกันข้ามถ้ามีสภาพเป็นกรดมากกว่าการขับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจะมีมากขึ้น

- ทำหน้าที่ร่วมกับกลไกอื่นๆ ในร่างกาย เพื่อช่วยควบคุมอุณหภูมิของร่างกายในอยู่ในระดับปกติโดยการระบายความร้อนออกมาพร้อมกับไอน้ำที่ออกมากับการหายใจออก

**1.โครงสร้างของระบบหายใจ (Structure of the respiratory system)**

ระบบหายใจประกอบด้วยอวัยวะที่สำคัญ 3 ส่วน คือ

**1.1 อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการนำอากาศเข้าและออกจากร่างกาย (air passage)** มีลักษณะเป็นระบบท่อที่มีขนาดต่างๆกัน อาจเรียกว่าท่อทางเดินหายใจส่วนบน (upper respiratory tract) ซึ่งเริ่มต้นจากจมูก (nose) รูจมูก (nosetril) ช่องจมูก (nasal cavity) หลอดคอ (pharynx) กล่องสียง (larynx) เรื่อยไปจนถึงหลอดลม (trachea) ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของอากาศจากภายนอกเข้าสู่ร่างกาย และในระหว่างที่อากาศไหลผ่านท่อทางเดินหายใจ อากาศจะถูกทำให้อุ่นขึ้น หรือทำให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของร่างกาย นอกจากนี้อากาศยังถูกทำให้มีความชุ่มชื้นขึ้น โดยของเหลวที่ผลิตจากต่อมผลิตน้ำเมือก (mucous gland) ของชั้นเยื่อเมือกในช่องจมูก และอากาศที่หายใจเข้าไปนั้นยังถูกกรองฝุ่นผง รวมทั้งเชื้อโรคขนาดเล็กออก โดยขนจมูก และเยื่อเมือกที่เคลือบท่อทางเดินหายใจ

**1.2 อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซ (respiratory portion)** หมายถึง ส่วนของระบบท่อในเนื้อปอดที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซเกิดขึ้น โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะซึมออกจากเลือดเข้าสู่ถุงลมปอด และก๊าซออกซิเจนจากอากาศจะซึมออกจากถุงลมปอดผ่านผนังหลอดเลือดเข้าไปในเลือด ส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซเป็นส่วนของท่อที่ต่อมาจากส่วนแขนงของขั้วปอดส่วนที่เล็กที่สุดที่อยู่ในเนื้อปอด (terminal bronchioles) อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซนี้ประกอบด้วยระบบท่อภายในเนื้อปอด หรือท่อทางเดินหายใจส่วนล่าง (lower respiratory tract) ซึ่งประกอบด้วยท่อเล็กๆที่แตกแยกออกมาจากแขนงของขั้วปอดส่วนที่เล็กที่สุดได้แก่ ท่อถุงลม (alveolar ducts) กลุ่มของถุงลม (alveolar sacs) และถุงลม (alveoli) ถุงลมมีรูปร่างเป็นกระเปาะอากาศขนาดเล็กๆ โดยรอบถุงลมจะมีเส้นเลือดฝอยมาประสานเป็นตาข่าย (pulmonary capillary bed) ถุงลมเป็นส่วนที่ยื่นออกมาจากผนังด้านข้างของแขนงขั้วปอดส่วนที่เล็กที่สุด มีอยู่มากมาย และอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม ถุงลมที่รวมกลุ่มกันจะทำให้เกิดเป็นส่วนของเนื้อเยื่อปอดขึ้นมา และทำให้เนื้อปอดมีลักษณะยืดหยุ่น

**1.3 อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการหายใจเข้าและการหายใจออก (ventrilation portion)** เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อที่ช่วยในการหายใจเข้า และกล้ามเนื้อที่ช่วยในการหายใจออก ร่วมกับคุณสมบัติของเนื้อเยื่อปอดที่มีความยืดหยุ่นได้ดี (คำอธิบายมีในหัวข้อระบบกล้ามเนื้อ)

1. **ท่อทางเดินหายใจ**

ท่อทางเดินหายใจสามารถแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ท่อทางเดินหายใจส่วนบน (upper respiratory tract) และท่อทางเดินหายใจส่วนล่าง (lower respiratory tract) ที่เป็นระบบท่อในเนื้อปอด

**ก.ท่อทางเดินหายใจส่วนบน (upper respiratory tract)** ประกอบด้วย รูจมูก (nostil) ช่องจมูก (nasal cavity) โพรงอากาศ (sinuses) หลอดคอ (pharynx) กล่องเสียง (larynx) และ หลอดลม (trachea) เป็นต้น

**- รูจมูก (nostil)** เป็นส่วนของท่อทางเดินหายใจที่มองเห็นได้จากด้านนอกของร่างกาย รูปร่างลักษณะของรูจมูกในสัตว์เลี้ยงจะแตกต่างกันไปตามชนิด และลักษณะของการกินอาหาร ส่วนของมัสเซิล (muzzle) ในโค แกะ และสุกรจะไม่มีขน และในบริเวณนี้จะไม่มีต่อมน้ำมันอยู่เลย แต่จะมีต่อมเหงื่ออยู่มากมาย บริเวณนี้ในโคจะถูกใช้เป็นที่สังเกตเกี่ยวกับสุขภาพของโคได้ ถ้าโคป่วยบริเวณส่วนนี้จะแห้ง และตกสะเก็ด

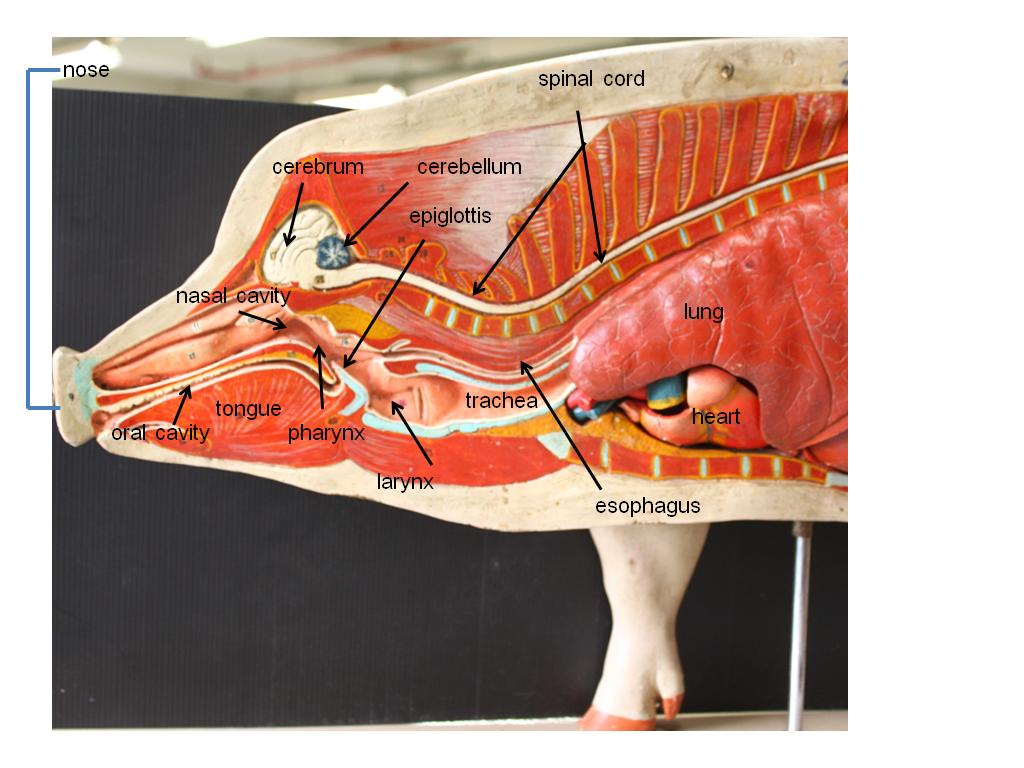
**- ช่องจมูก (nasal cavity)** เป็นช่องทางผ่านของอากาศที่ผ่านเข้า-ออกจากร่างกาย เป็นส่วนที่ต่อมาจากรูจมูก ช่องจมูกจะแยกออกเป็น 2 ช่อง ด้านซ้ายและขวา โดยมีผนังกั้นตรงกลาง เรียกว่าเซปตัม (septum) ช่องจมูกจะแยกออกจากช่องปากด้วยเพดานปากแข็งและเพดานปากอ่อน (hard and soft palate) แต่ละข้างของช่องจมูก (nasal septum) จะติดต่อกับหลอดคอ (pharynx) ตรงบริเวณนาโซฟาริงซ์ (nasopharynx) ช่องจมูกมีลักษณะเป็นท่อที่มีโครงสร้างค่อนข้างซับซ้อน โดยมีกระดูกเทอร์บิเนต (turbinate bone) ที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางคล้ายม้วนกระดาษ ที่ถูกปกคลุมด้วยเซลล์เยื่อบุ ซึ่งเป็นส่วนที่ปกคลุมพื้นที่ของโพรงช่องจมูกทั้งหมด

ผนังภายในช่องจมูกถูกบุด้วยชั้นเยื่อเมือกที่มีเซลล์เยื่อบุผิวรูปแท่งที่มีลักษณะเป็นขน (ciliated columnar epithelial cell) โดยขนจะยื่นออกจากส่วนผิวของเซลล์เยื่อบุผิวเข้าไปยังชั้นเยื่อเมือก (mucous layer) ในชั้นเยื่อเมือกมีต่อมผลิตน้ำเมือกจำนวนมาก และมีเส้นเลือดมาหล่อเลี้ยงมากมาย ผนังเยื่อบุในช่องจมูกจึงทำหน้าที่ช่วยทำให้อากาศที่หายใจเข้าไปในร่างกาย มีความอบอุ่นขึ้น นอกจากนี้ยังมีความชุ่มชื้น และยังช่วยกรองสิ่งแปลกปลอมรวมทั้งฝุ่นผงที่ปนเข้าไปพร้อมกับอากาศที่หายใจเข้า สำหรับเซลล์เยื่อบุผิวที่อยู่บริเวณส่วนท้ายของช่องจมูก จะมีปลายประสาทรับความรู้สึกที่เกี่ยวข้องกับการดมกลิ่นรวมอยู่ด้วย (olfactory nerve)

**- โพรงอากาศ (sinuses)** เป็นส่วนหนึ่งของกะโหลกศีรษะที่เป็นทางเปิดทะลุไปยังช่องจมูกได้ อากาศที่ผ่านมาทางช่องจมูกจะต้องผ่านโพรงอากาศก่อนจึงจะเข้าไปที่ปอดได้ ที่กะโหลกศีรษะจะมีโพรงอากาศอยู่ 4 แห่ง ซึ่งเกี่ยวข้องกับการช่วยทำให้ลมหายใจอุ่นขึ้น และทำให้เสียงมีความกังวาน โพรงอากาศที่สำคัญ ได้แก่ โพรงอากาศฟรอนทัล (frontal sinus) และโพรงอากาศแมกซิลลารี่ (maxillary sinus) อย่างละ 2 แห่ง ซึ่งอยู่ภายในกระดูกฟรอนทัล (frontal bone) และกระดูกขากรรไกรบน (maxillary bone) ในแกะจะมีโพรงอากาศเพิ่มขึ้นอีก เช่น โพรงอากาศลาครีมัล (lacrimal sinus) สำหรับในโคการตัดเขาโคในลักษณะที่ชิดกับกะโหลกศีรษะมากเกินไป อาจมีผลทำให้เกิดการติดเชื้อทางโพรงอากาศฟรอนทัล (frontal sinus) ได้

บริเวณโพรงอากาศจะมีเซลล์เยื่อบุผิวที่มีลักษณะเป็นขน (ciliated cell) เช่นเดียวกับในช่องจมูก โดยขนดังกล่าวจะทำหน้าที่กวาดน้ำเมือกที่ผลิตได้ภายในโพรงอากาศลงไปในช่องจมูก เพื่อช่วยไม่ให้มีการสะสมของของเหลว และเศษเซลล์เยื่อบุที่หลุดลอกจากผนังของโพรงอากาศ ซึ่งจะทำให้เกิดการอุดตันของช่องทางระหว่างโพรงจมูก และช่องจมูกได้

**- หลอดคอ (pharynx)** เป็นช่องเปิดร่วมระหว่างช่องปาก (oral cavity) และช่องจมูก (nasal cavity) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ นาโซฟาริงซ์ (nasopharynx) ออโรฟาริงซ์ (oropharynx) และ ราลิงโกฟาริงซ์ (laryngopharynx) บริเวณนี้จะมีเซลล์เยื่อบุผิวปกคลุมอยู่ นอกจากนี้ยังพบต่อมทอลซิล (tonsil gland) ซึ่งทำหน้าที่เป็นต่อมน้ำเหลืองที่ช่วยในการทำลายเชื้อโรคบริเวณหลอดคอด้วย บริเวณหลอดคอจะมีช่องเปิดหลายแห่ง ได้แก่ ช่องเปิดจากจมูก (posterior choanae) จำนวน 2 ช่อง ช่องเปิดจากหูชั้นกลาง (eustachian tubes) จำนวน 2 ช่อง ช่องเปิดจากปาก ช่องเปิดจากกล่องเสียง และช่องเปิดจากหลอดอาหาร เป็นต้น ส่วนของหลอดคอจะมีฝาปิดกล่องเสียง (epiglottis) ที่เป็นกระดูกอ่อน ทำหน้าที่ในการปิด-เปิดให้อากาศเข้าหลอดลม และให้อาหารเข้าหลอดอาหาร ปกติกระดูกอ่อนนี้จะเปิดอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้อากาศผ่านเข้าไปในช่องหลอดลม (trachea) โดยตรง แต่เมื่อสัตว์กินอาหารและมีการกลืนอาหารกระดูกอ่อนชิ้นนี้จะปิดลงเพื่อให้ก้อนอาหารผ่านเข้าไปในหลอดอาหารได้



**ภาพที่ 4.1** ท่อทางเดินหายใจส่วนบนในสุกร

**- กล่องเสียง (larynx)** เป็นท่อสั้นๆ รูปร่างแปลก อยู่ระหว่างหลอดคอ (pharynx) และหลอดลม (trachea) กล่องเสียงจะเป็นส่วนของกระดูกอ่อนหลายๆ ชิ้นมารวมกัน เพื่อควบคุมการหายใจเข้า และการหายใจออก ช่วยป้องกันสิ่งแปลกปลอมไม่ให้เข้าไปในหลอดลม และช่วยควบคุมเสียงร้องที่เกิดขึ้น กระดูกอ่อนแต่ละชิ้นที่ประกอบขึ้นเป็นกล่องเสียง จะเชื่อมต่อกับเนื้อเยื่ออื่นที่อยู่โดยรอบด้วยกล้ามเนื้อลาย ในสัตว์แต่ละชนิดรูปแบบ และจำนวนของกระดูกอ่อนที่ประกอบกันเป็นกล่องเสียงจะแตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมกล่องเสียงจะประกอบด้วยกระดูกอ่อน 4 ชิ้น คือ กระดูกอ่อนเอพิกล็อตทิส (epiglottis cartilage) กระดูกอ่อนไทรอยด์ (thyroid cartilage) กระดูกอ่อนแอริทินอยด์ (arytenoid cartilage) และกระดูกอ่อนไครคอยด์ (cricoids cartilage) เป็นต้น

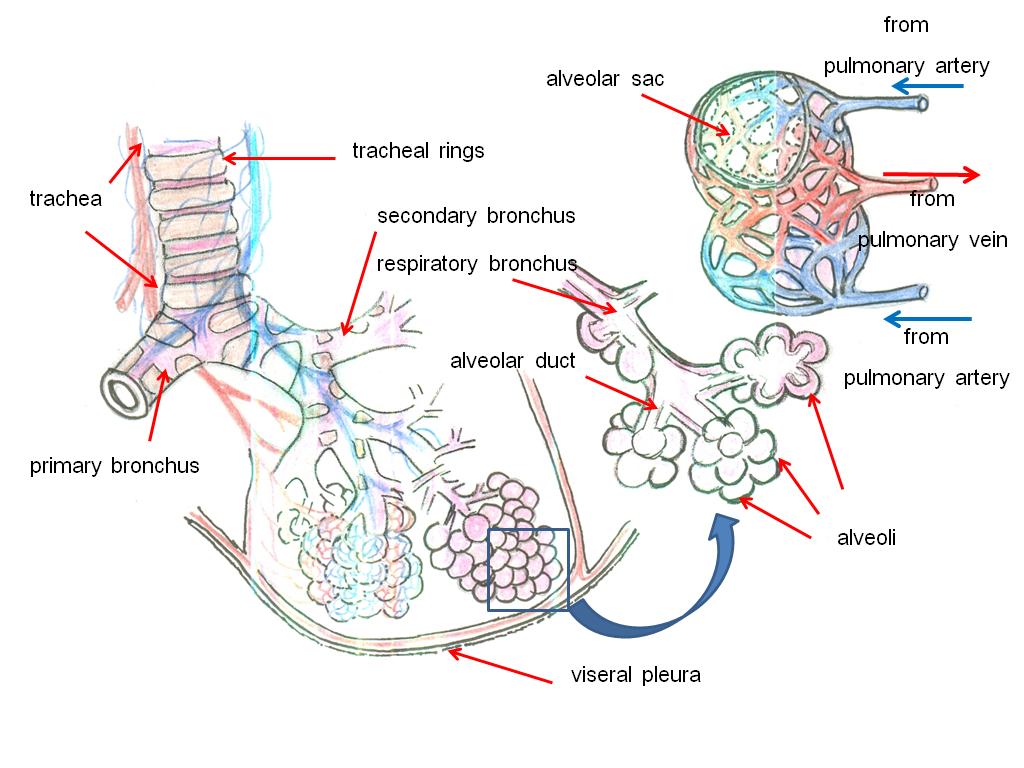
**- หลอดลม (trachea)** เป็นส่วนของท่อทางเดินหายใจที่ต่อมาจากกล่องเสียง ประกอบด้วยกระดูกอ่อนที่มีลักษณะเป็นวง (cartilage ring or trachea ring) เป็นกระดูกอ่อนพวกไฮยาลิน (hyaline cartilage) มีสีขาวมาเรียงต่อกัน ด้านบนของวงแหวนจะไม่เชื่อมติดต่อกันจนครบวงรอบ หรือเป็นวงแหวนแบบรูปตัวซี (c-shape) หลอดลมจะมีลักษณะเป็นท่อตรงทอดยาวไปถึงส่วนที่โค้งของหลอดเลือดแดงใหญ่ (arch of aorta) จากนั้นจะแตกแขนงออกเป็นขั้วปอด (bronchi) ด้านซ้ายและด้านขวา ซึ่งจะอยู่ด้านนอกของเนื้อเยื่อปอด ผนังชั้นนอกของกระดูกอ่อนจะเป็นชั้นเยื่อเมือก (serous membrane) ที่มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เหนียวมาก ชั้นกลางของหลอดลมซึ่งเป็นกระดูกอ่อนพวกไฮยาลิน (hyaline cartilage) จะเป็นรูปวงแหวน และชั้นในเป็นชั้นเยื่อเมือกที่มีเซลล์ที่มีขน (ciliated columnar epithelium) เรียงตัวกันอยู่ เช่นเดียวกับเซลล์ในช่องจมูก ชั้นเยื่อเมือกจะช่วยดักจับเซลล์ที่หลุดลอกออกมาและเข้าไปในท่อทางเดินหายใจ และต่อมในชั้นเยื่อเมือกจะทำหน้าที่ขับสารเมือกออกมาเมื่อเกิดการไอ ส่วนเซลล์ขนทำหน้าที่ดักจับสิ่งที่เข้าไปในกล่องเสียง

1. **ท่อทางเดินหายใจส่วนล่าง (lower respiratory tract) หรือ ระบบท่อภายในปอด**

หมายถึง ระบบท่อทางเดินหายใจส่วนที่อยู่ในเนื้อปอด เริ่มต้นจากขั้วปอด (bronchus) ไปสิ้นสุดที่ถุงลมปอด(alveoli)

**- ขั้วปอด (bronchus)** เป็นส่วนของท่อทางเดินหายใจที่ต่อมาจากหลอดลม (trachea) ที่แตกแขนงออกเป็นแขนงด้ายซ้ายและด้านขวา (left and right bronchi) แต่ละข้างจะแตกแยกเข้าไปในเนื้อของปอด แล้วแตกเป็นแขนงขั้วปอด (bronchial tree) จากนั้นแต่ละแขนงขั้วปอดจะแตกเป็นแขนงย่อยอีกมากมายจนเป็นแขนงขั้วปอดที่มีขนาดเล็กที่สุด (terminal bronchiole) จากนั้นแขนงขั้วปอดที่มีขนาดเล็กที่สุด (terminal bronchiole) จะแตกแขนงออกเป็นท่อถุงลม (alveolar ducts) กลุ่มของถุงลม (alveolar sacs) และถุงลม (alveoli) ในที่สุด (อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการนำอากาศเข้าและออกจากร่างกายจะเริ่มจากส่วนรูจมูกจนถึงแขนงขั้วปอดที่มีขนาดเล็กที่สุด (terminal bronchiole))

**- ถุงลม (alveoli)** เป็นส่วนปลายสุดของระบบทางเดินหายใจ ที่เป็นส่วนที่เกิดการหายใจโดยปอด เป็นบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างอากาศและเลือด ถุงลมมีขนาดเล็กมากและมีผนังบาง ถูกล้อมรอบด้วยเส้นเลือดแดงฝอยและเส้นเลือดดำฝอยที่เรียงตัวกันแบบร่างแห ผนังของถุงลมและเส้นเลือดฝอยประกอบด้วยเซลล์เยื่อบุผิวชนิดเซลล์ที่มีรูปร่างแบนเรียงกันชั้นเดียว (simple squamous epithelium) ส่วนท่อถุงลม (alveolar ducts) คือ แขนงของขั้วปอดส่วนที่เล็กที่สุดที่แตกแขนงออกมาโดยมีถุงลมอยู่ตรงปลาย และช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการที่มีถุงลมหลายๆ ถุงมาเปิดเข้าร่วมกัน เรียกว่า อัลวีโอลาร์แซค (alveolar sac)



**ภาพที่ 4.2** ท่อทางเดินหายใจส่วนล่างและถุงลมปอด

**ที่มา:** ดัดแปลงจาก Frandson et al. (2009)

1. **ปอด (lungs)**

ปอดเป็นอวัยวะสำคัญในระบบหายใจ มี 2 ข้าง ด้านซ้าย และด้านขวา มีตำแหน่งอยู่ในช่องปอด (pleural cavity) ทั้งซ้ายและขวา ฐาน (base) ของปอดแต่ละข้างจะอยู่ติดกับผิวส่วนหน้าของกระบังลม ระหว่างเนื้อเยื่อปอดทั้งสองข้างมีช่องว่างเรียกว่า มีดิแอสตินั่ม(mediastinum) ภายในช่องว่างนี้มีหัวใจ บางส่วนของหลอดเลือดแดง (descending aorta) เส้นเลือดดำใหญ่ (vena cava) และ หลอดอาหารบรรจุอยู่ เนื้อเยื่อปอดจึงเป็นส่วนของถุงลมที่มารวมตัวกัน มีลักษณะคล้ายกับฟองน้ำ และมีความยืดหยุ่นมาก

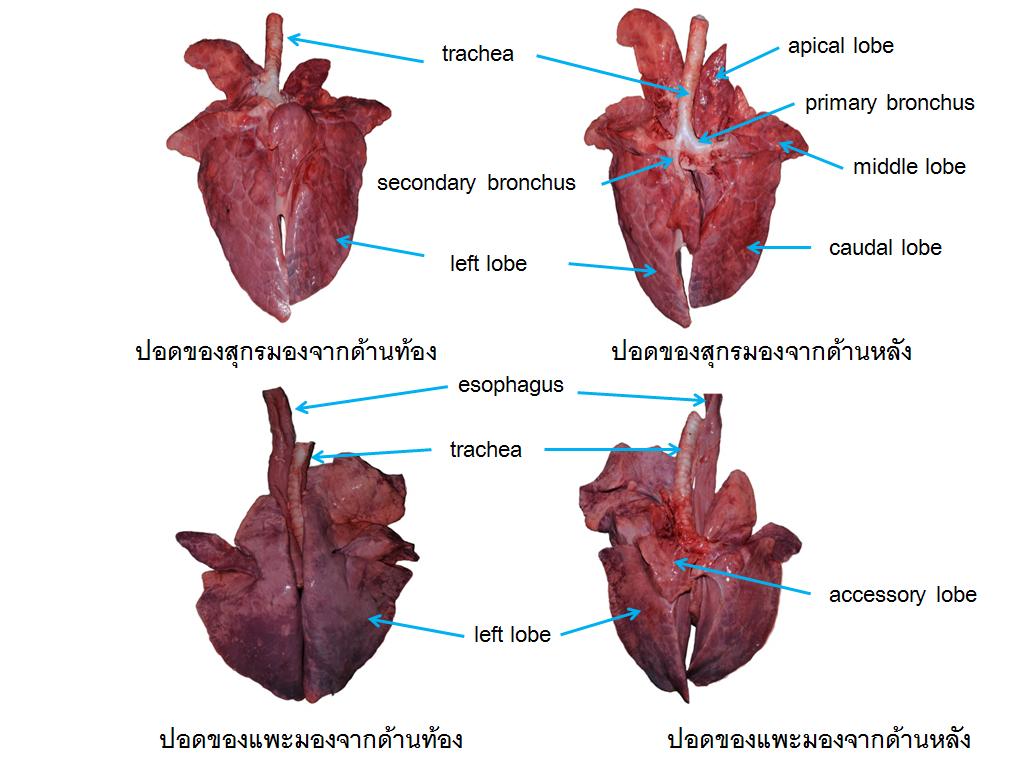
**โครงสร้างภายนอกของปอด**

เนื้อเยื่อปอดของสัตว์เลี้ยงสามารถแบ่งออกเป็นกลีบๆ (lobe) ได้ไม่สมบูรณ์โดยใช้ร่องลึก ในสัตว์แต่ละชนิดจะมีจำนวนกลีบไม่เท่ากัน โดยทั่วไปปอดข้างซ้ายจะมี 2 กลีบ คือ กลีบหน้า (cranial lobe) และกลีบหลัง (caudal lobe) ในสัตว์บางชนิดกลีบหน้าอาจแบ่งออกเป็นกลีบส่วนหน้า (cranial) และกลีบส่วนท้าย (caudal) ส่วนปอดข้างขวามี 4 กลีบ กลีบหน้า (cranial lobe) กลีบหลัง (caudal lobe) กลีบกลาง (middle lobe) และกลีบเสริม (accessory lobe) เช่น ในโค สุกร แพะและแกะ ปอดข้างขวาจะมี 4 กลีบ และปอดข้างซ้ายมี 3 กลีบ ดังตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** แสดงจำนวนกลีบของปอดในสัตว์เลี้ยง

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ชนิดของสัตว์** | **ปอดข้างซ้าย** | **ปอดข้างขวา** |
| โค แพะและแกะ | มีกลีบหน้าและกลีบหลัง โดยกลีบหน้าแยกเป็นกลีบส่วนหน้าและกลีบส่วนท้าย | มีกลีบหน้า กลีบหลัง กลีบกลางและกลีบเสริม |
| สุกร | มีกลีบหน้าและกลีบหลัง โดยกลีบหน้าแยกเป็นกลีบส่วนหน้าและกลีบส่วนท้าย | มีกลีบหน้า กลีบหลัง กลีบกลางและกลีบเสริม โดยกลีบหน้าแบ่งย่อยเป็นกลีบส่วนหน้าและกลีบส่วนท้าย |
| ม้า | มีกลีบหน้าและกลีบหลัง | มีกลีบหน้า กลีบหลัง และกลีบเสริม |

ที่มา : Constantinescu et al. (2004)



**ภาพที่ 4.3** แสดงลักษณะของปอดในสุกร และแพะ

1. **เยื่อหุ้มปอด (pleura)**

ปอดแต่ละข้างจะมีเยื่อหุ้ม (pleura) อยู่ 2 ชั้น เยื่อหุ้มชั้นในที่ติดกับเนื้อเยื่อของปอด (visceral pleural) และเยื่อหุ้มชั้นนอกที่บุติดช่องอก (parietal pleural) ช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างเยื่อหุ้มปอดทั้งสองชั้น (pleural cavity) จะถูกเคลือบ และหล่อลื่นด้วยของเหลว (pleural fluid) ที่ทำหน้าที่ช่วยลดการเสียดสีระหว่างเนื้อเยื่อปอดทั้งสองข้างและระหว่างปอดกับโครงสร้างอื่นๆที่อยู่ในช่องอก

**2. สรีรวิยาของการหายใจ** **(physiology of respiration)**

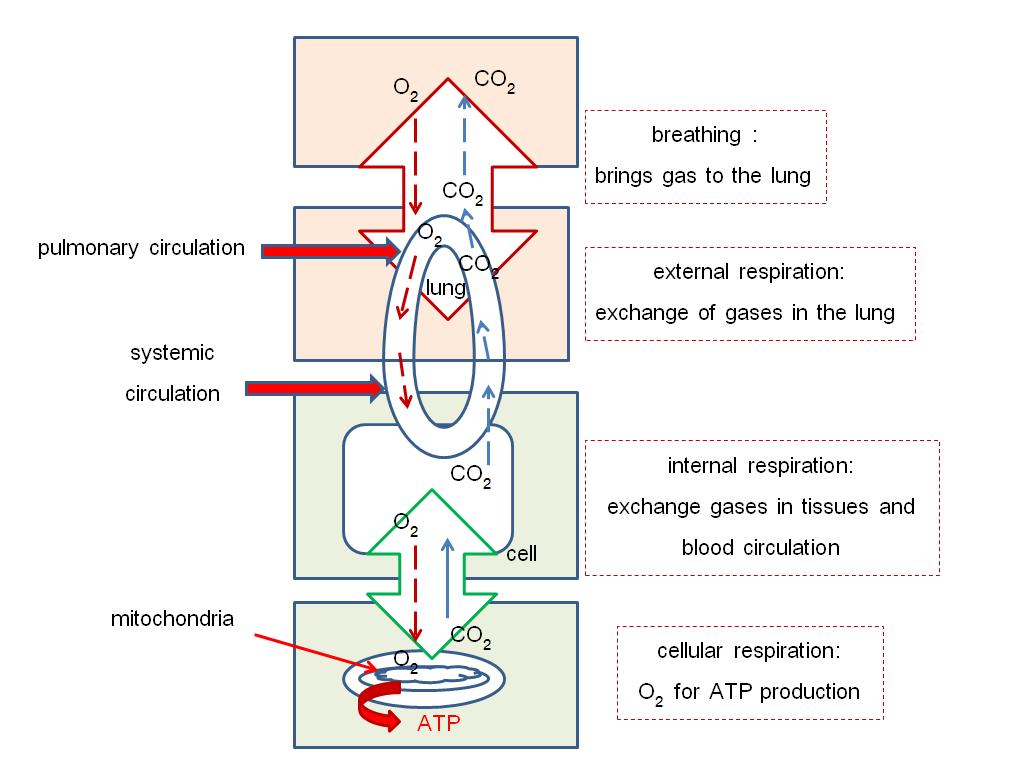
ในทางสรีรวิทยาสามารถแบ่งการหายใจออกได้เป็น 4 ชนิด คือ

**- การหายใจเข้าออก (breathing)** หมายถึง การหายใจเพื่อนำอากาศที่มีก๊าซออกซิเจนจากภายนอกเข้าสู่ปอดโดยการหายใจเข้า และการนำอากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากปอดโดยการหายใจออก

**- การหายใจโดยปอด (external respiration)** หมายถึง การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากับเลือดที่บริเวณถุงลมปอด โดยเลือดจะรับก๊าซออกซิเจนเข้าไป และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา หรือการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำเลือด

**- การหายใจในร่างกาย (internal respiration)** หมายถึงการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนจากเลือดกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้นจากเซลล์ เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างก๊าซออกซิเจนในน้ำเลือดกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์

**- การหายใจภายในระดับเซลล์ (cellular respiration)** เป็นขบวนการใช้ก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นภายในไมโตคอนเดรียในขบวนการเมตาโบลิซึมของเซลล์ เพื่อให้ได้พลังงานในรูปของ ATP

****

**ภาพที่ 4.4** การหายใจในระดับต่างๆ ของร่างกาย

**2.1 กลไกของการหายใจเข้าออก (mechanism of breathing)**

การหายใจในสภาพปกติจะเป็นแบบอัตโนมัติเช่นเดียวกับการเต้นของหัวใจ การหายใจในสภาพปกติแต่ละครั้ง จะมีปริมาณอากาศที่หายใจเข้าเท่ากับปริมาณอากาศที่หายใจออก ในการหายใจแบบปกติแต่ละครั้งจะประกอบด้วยกลไกการหายใจเข้า (inspiration) 1 ครั้ง และกลไกการหายใจออก (expiration) 1 ครั้ง สามารถวัดการหายใจในสภาพปกติเป็นจำนวนครั้ง/นาที ว่าอัตราการหายใจ (respiration rate) ในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดจะมีค่าอัตราการหายใจที่แตกต่างกันไป เช่น ในโคมีอัตราการหายใจ 10-50 ครั้ง/นาที ในสุกรมีอัตราการหายใจ 8-18 ครั้ง/นาที ม้ามีอัตราการหายใจ 8-16 ครั้ง/นาที แกะมีอัตราการหายใจ 12-20 ครั้ง/นาที และในไก่มีอัตราการหายใจ 15-30 ครั้ง/นาที อัตราการหายใจของสัตว์จะเปลี่ยนแปลงไปได้ตลอดเวลา ขึ้นกับความต้องการอากาศ หรือความต้องการก๊าซออกซิเจนของเซลล์ในร่างกายในขณะนั้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการรักษาความดันของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงลมปอด (alveoli) ให้อยู่ในระดับคงที่

การหายใจเข้า และการหายใจออกจะต้องอาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อลาย โดยเฉพาะการทำงานของกล้ามเนื้อลาย คือ กล้ามเนื้อกระบังลม (diaphragm) และกล้ามเนื้อระหว่างช่องกระดูกซี่โครงทั้งกล้ามเนื้อระหว่างช่องกระดูกซี่โครงด้านใน หรือ กล้ามเนื้ออินคอสทัลด้านใน (internal intercostal muscle) และกล้ามเนื้อระหว่างช่องกระดูกซี่โครงด้านนอก หรือกล้ามเนื้ออินคอสทัลด้านนอก (external intercostal muscle) นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับกล้ามเนื้อท้อง (abdominal muscles) สำหรับกล้ามเนื้อเรียบที่เกี่ยวข้องกับการหายใจ ส่วนใหญ่จะเป็นกล้ามเนื้อเรียบที่เป็นส่วนประกอบของผนังท่อทางเดินหายใจ และผนังหลอดเลือดที่มาหล่อเลี้ยงปอด

**ก. กลไกการหายใจเข้า (inspiration)** เป็นการนำเอาอากาศที่มีก๊าซออกซิเจนเข้าไปในปอดผ่านท่อทางเดินหายใจ ในขณะที่เกิดการหายใจเข้านั้นปริมาตรของช่องอกจะขยายใหญ่ขึ้น โดยการหดตัวของกล้ามเนื้อกระบังลมและ กล้ามเนื้อระหว่างช่องกระดูกซี่โครงด้านนอก โดยการหดตัวของกล้ามเนื้อกระบังลมที่มีรูปร่างคล้ายโดมซึ่งกั้นระหว่างช่องอกและช่องท้อง ทำให้อวัยวะภายในช่องท้องถูกดันไปทางด้านท้ายของลำตัว ส่วนการหดตัวกล้ามเนื้อระหว่างช่องกระดูกซี่โครงด้านนอกไปเพิ่มขนาด หรือปริมาตรของช่องอกได้ส่วนหนึ่ง โดยการหมุนกระดูกซี่โครงขึ้น และลง

**ข.กลไกการหายใจออก (exspiration)** เป็นการนำอากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากปอดออกสู่ภายนอกร่างกายผ่านทางท่อทางเดินหายใจ ในการหายใจออกปกติปริมาตรของช่องอกมีขนาดเล็กลงตรงกันข้ามการหายใจเข้า โดยกล้ามเนื้อกระบังลม และกล้ามเนื้อระหว่างช่องกระดูกซี่โครงด้านนอกเกิดการคลายตัว แต่ในกรณีที่ไม่ปกติจะต้องมีการหายใจออกที่เร็ว และลึกกว่าปกติ

**2.2 การขนส่งก๊าซในเลือด (gases transport in blood)**

**ก.การขนส่งก๊าซออกซิเจนในเลือด (O2 transport in blood)**  เป็นการนำก๊าซออกซิเจน (O2) ที่ได้จากการหายใจเข้าจากปอดไปส่งให้แก่เซลล์ เพื่อให้เซลล์นำไปใช้ประโยชน์ในขบวนการเมตาโบลิซึม การนำส่งก๊าซจะดำเนินไปได้โดยใช้เลือดเป็นตัวพา ก๊าซออกซิเจนจากอากาศที่เข้าสู่ร่างกายจะผ่านผนังของถุงลมที่ปอดเข้าไปในเลือดได้โดยวิธีการแพร่ (diffusion) เมื่อก๊าซออกซิเจนเข้าสู่เลือดแล้วจะถูกลำเลียงไปกับเลือดด้วยวิธีการต่างๆ คือ

**- การละลายอยู่ในน้ำเลือด หรือ พลาสม่าของเลือด (dissolved oxygen)** ส่วนของก๊าซออกซิเจนที่ถูกลำเลียงด้วยวิธีนี้จะมีเป็นส่วนน้อย

**- การรวมตัวกับเฮโมโกลบิน หรือเกาะกับเฮโมโกลบิน (oxyhaemoglobin)** ส่วนใหญ่ก๊าซออกซิเจนที่เข้าสู่ร่างกายเพื่อไปสู่เนื้อเยื่อตามส่วนต่างๆ จะรวมตัวกับเฮโมโกลบินอย่างหลวมๆ โดยการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่สามารถเปลี่ยนแปลงกลับไปมาได้ ดังสมการ

Hb + O2 HbO2 (oxyhaemoglobin)

ในเลือดแดง หรือ เลือดที่ผ่านการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนที่ปอดแล้วจะมีก๊าซออกซิเจนสูง เลือดจึงมีสีแดงสด เพราะมีการรวมตัวกันระหว่างก๊าซออกซิเจนและเฮโมโกลบิน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งก๊าซออกซิเจนในเลือด (oxygen carrying capacity) เมื่อเฮโมโกลบินปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนออกไป (deoxynate Hb) เลือดจะมีสีคล้ำลง โดยทั่วไปเฮโมโกลบิน 1 โมเลกุลจะจับกับออกซิเจนได้ 4 โมเลกุล

การจับกันระหว่างออกซิเจนและเฮโมโกลบินในเลือดจะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง เช่นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือด ค่า pH ในเลือด อุณหภูมิของร่างกาย และอื่นๆ เป็นต้น

**ข.การขนส่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือด** ไม่ยุ่งยากเหมือนการขนส่งก๊าซออกซิเจนในเลือด แม้ว่าเลือดจะอยู่ในสภาวะที่ผิดปกติการขนส่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ยังเกิดขึ้นได้ โดยทั่วไปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับค่า pH ในเลือด โดยการขนส่ง 3 แบบด้วยกัน คือ

**- การละลายในน้ำเลือด (dissolved carbondioxide)** เกิดขึ้นได้น้อยประมาณ 9% ดังสมการ

CO2 + H2O H2CO3 H+ + HCO3-

**- การรวมตัวกับเฮโมโกลบินในเซลล์เม็ดเลือดแดง (carbaminohamoglobin)** เกิดขึ้นได้ประมาณ 27% ของการขนส่งทั้งหมด ดังสมการ

CO2 + Hb HbNHCOOH (carbaminohamoglobin)

**- การขนส่งในรูปของไบคาร์บอเนต (bicarbonate)** โดยการรวมกับน้ำในเซลล์เม็ดเลือดแดง แล้วเปลี่ยนไปเป็นไบคาร์บอเนต การขนส่งแบบนี้เกิดขึ้นได้มากที่สุดประมาณ 64% ดังสมการ

CO2 + H2O H2CO3 H+ + HCO3-

การขนส่งในรูปของไบคาร์บอเนท จะเป็นการขนส่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมากที่สุดในร่างกาย โดยก๊าซก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในเซลล์จะแพร่ (diffuse) เข้ามาในเลือด แล้วเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำในเลือดได้เป็นกรดคาร์บอนิก (carbonic acid, H2CO3) จากนั้นกรดคาร์บอนิกแตกตัวได้ไฮโดรเจนอิออน (H+) และ ไบคาร์บอเนตอิออน (HCO3-) แต่ปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ช้ามากในเลือดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ที่อยู่ในเลือดจึงแพร่เข้าไปในเซลล์เม็ดเลือดแดง และรวมตัวกับน้ำในเซลล์เม็ดเลือดแดง เนื่องจากในเซลล์เม็ดเลือดแดงมีเอ็นไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรส (carbornic anhydrase) ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้กรดคาร์บอนิกแตกตัวได้ไฮโดรเจนอิออน (H+) และ ไบคาร์บอเนตอิออน (HCO3-)เมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน (H+) และ ไบคาร์บอเนตอิออน (HCO3-)ในเซลล์เม็ดเลือดแดงเพิ่มสูงขึ้นมาก ไบคาร์บอเนตอิออน (HCO3-)ที่เกิดขึ้นในเซลล์เม็ดเลือดแดงเมื่อมีมากกว่าในน้ำเลือดก็จะแพร่ออกจากเซลล์เม็ดเลือดแดงออกมาในน้ำเลือด แต่ไฮโดรเจนอิออน (H+) ที่ไม่สามารถออกมาจากเซลล์เม็ดเลือดแดงได้ เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดงจะไม่ยอมให้อิออนประจุบวกออกจากเซลล์ เพื่อรักษาความสมดุลระหว่างอิออนในเซลล์เม็ดเลือดแดงและน้ำเลือด คลอไรด์อิออน (Cl-) ซึ่งมีมากในน้ำเลือดและมีประจุลบเช่นเดียวกับไบคาร์บอเนตอิออนจึงถูกดึงเข้าไปในเซลล์เม็ดเลือดแดงแทน การเคลื่อนย้ายคลอไรด์อิออนในลักษณะนี้เรียกว่าคลอไรด์ชีฟท์ (chloride shift) ไฮโดรเจนอิออน(H+) ที่เกิดขึ้นในเซลล์เม็ดเลือดแดงจะเป็นตัวเร่งการปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนจากออกซิเฮโมโกลบิน (HbO2) โดยไฮโดรเจนอิออน(H+) จะเข้าไปรวมตัวกับเฮโมโกลบิน (reduced hemoglobin) ที่ได้เกิดจากการปลดปล่อยก๊าซออกซิเจน (O2) ออกแล้ว เกิดเป็นกรดเฮโมโกลบิน เนื่องจากมีฤทธิ์เป็นกรดน้อยกว่า ปรากฎการณ์นี้เรียกว่าโฮลดิ้งเอฟแฟค (holdane effect) ซึ่งหมายถึงปรากฏการณ์ที่เลือดให้ออกซิเจน (O2) แก่เนื้อเยื่อมากเท่าใดก็สามารถรับ (CO2) ได้มากขึ้นเท่านั้น

**2.3 การแลกเปลี่ยนก๊าซที่ถุงลมปอด** **(exchange of gases in alveoli)**

เนื่องจากอากาศที่เข้ามาอยู่ในถุงลมจะอยู่ใกล้ชิดกับเส้นเลือดฝอยมาก จึงเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซกันได้จากบริเวณที่มีความเข้มข้นก๊าซสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า โดยขบวนการแพร่ในรูปของของเหลว (liquid phase diffusion) การแพร่ของก๊าซที่เกิดขึ้นเกิดจากความแตกต่างระหว่างความดันของก๊าซในเลือดและความดันของก๊าซในถุงลม (alveolar air) โดยก๊าซที่มีความเข้มข้นสูงจะแพร่ไปยังก๊าซที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าจนกระทั่งความดันเท่ากัน หรือเกิดความสมดุลของความดันทั้งสองฝ่าย สำหรับอากาศในถุงลมจะมีความดันของก๊าซออกซิเจนสูง (มีก๊าซออกซิเจนสูง ประมาณ 21%) และความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ (มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 0.03%) ดังนั้นก๊าซออกซิเจนจึงแพร่ออกจากถุงลมเข้าไปสู่เส้นเลือดดำฝอยที่ล้อมรอบถุงลมปอด (pulmonary capillary) ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะแพร่จากเลือดดำที่มีความดันสูงกว่าเข้าสู่ถุงลมปอดแทน โดยการแพร่ของอากาศในถุงลมนั้นก๊าซออกซิเจนจะแพร่ได้เร็วกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในร่างกายของสัตว์เลี้ยงการแลกเปลี่ยนก๊าซที่เกิดจากการหายใจจะเป็นไปตามกฎของดาลตัน (Dalton’s law) ที่กล่าวว่าในก๊าซผสมที่ประกอบด้วยก๊าซหลายชนิดรวมกัน ก๊าซแต่ละชนิดจะทำให้เกิดความดันของก๊าซแต่ละชนิด (partial pressure or tension) ความดันของก๊าซแต่ละชนิดจะมากหรือน้อย จะขึ้นกับความเข้มข้นของก๊าซนั้นๆในก๊าซผสมโดยไม่ขึ้นกับก๊าซอื่นเลย และความดันรวมของก๊าซผสมจะเท่ากับผลรวมของความดันของก๊าซแต่ละชนิด (partial pressure) ของก๊าซแต่ละชนิดที่รวมกันเป็นก๊าซผสม

ด้วยเหตุที่ความดันของก๊าซแต่ละชนิดในเลือดแดง เลือดดำ และในถุงลม มีความแตกต่างกัน โดยก๊าซออกซิเจนในถุงลมมีความดันสูงกว่าในเลือดดำ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดดำมีความดันสูงกว่าในถุงลม จึงเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซกันขึ้นระหว่างก๊าซในถุงลมและในเลือดดำ การปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนที่เกาะมากับเฮโมโกลบินจะเกิดได้เร็วหรือช้า ขึ้นกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในเซลล์ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้นในเลือดจะมีผลให้เลือดมีค่าความเป็นกรดสูงหรือ pH สูง ซึ่งจะมีส่วนในการกระตุ้นให้เฮโมโกลบินปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมีในร่างกายก็มีส่วนในการเร่งการปลดปล่อยออกซิเจนจากเฮโมโกลบินด้วย ค่าของอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่หายใจออก กับปริมาตรของก๊าซออกซิเจนที่หายใจเข้า เพื่อนำไปใช้ในขบวนการเมตาโบลิซึมจะเรียกว่า ค่า RQ (respiratory quotient) ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

ค่า RQ (respiratory quotient) = ปริมาตรของ CO2 ที่หายใจออก

ปริมาตรของ O2 ที่หายใจเข้า

โดยค่า RQ ของ คาร์โบไฮเดรท = 1, ค่า RQ ของโปรตีน = 0.80 , ค่า RQ ของไขมัน = น้อยกว่า 1

#### 2.4 ส่วนประกอบของอากาศที่หายใจเข้า และออกจากร่างกาย

#### สามารถแบ่ง ออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

**ก.อากาศที่หายใจเข้า (inspired air or room air)** หมายถึงอากาศที่หายใจเข้าที่ประกอบด้วยก๊าซออกซิเจน (O2) และก๊าซไนโตรเจน (N2) เป็นส่วนใหญ่ มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) น้อยมาก นอกจากอากาศที่หายใจเข้าจะมีก๊าซเหล่านี้แล้วยังมีก๊าซเฉื่อย (innert gas) ปนอยู่ด้วย เช่น ก๊าซฮีเลียม (helium) และ ก๊าซอาร์กอน (argon) เป็นต้น

**ข. อากาศที่อยู่ภายในถุงลม (alveolar air)** หมายถึง ส่วนประกอบของอากาศในส่วนที่เข้าไปอยู่ในถุงลมปอด (alveoli) มีค่าเท่ากับปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าหรือออกหนึ่งครั้ง (tidal volume) หักออกด้วยอากาศที่ค้างอยู่ในท่อทางเดินหายใจ (nasal passage) เช่น อากาศที่อยู่ตามหลอดลม (trachea) เรียกว่า อะนาโทมิเคิลเดดสเปส (anatomical dead space)

**ค. อากาศที่หายใจออก (expired air)** หมายถึงอากาศที่หายใจออกจากร่างกาย มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ก๊าซออกซิเจน (O2) ก๊าซไนโตรเจน (N2) น้ำ (H2O) และก๊าซอื่นๆ สำหรับในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีส่วนของก๊าซมีเทน (CH4) ปนมาด้วย

**2.5** **การควบคุมการหายใจ (control of respiration)**

การหายใจปกติจะถูกควบคุมโดยระบบประสาท โดยศูนย์การหายใจที่พบในสมองส่วนเมดดูลาร์ออบลองกาต้า (medullar respiratory center) และสมองส่วนพอนส์ (pons) นอกจากนี้การควบคุมการหายใจยังสามารถถูกควบคุมได้โดยสารเคมีในเลือด เช่น ความเป็นกรด-ด่างที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของไฮโดรเจนอิออน (H+) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2 )และก๊าซออกซิเจน (O2) ในเลือด ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของศูนย์กลางการหายใจที่สมอง

**ก. การควบคุมการหายใจโดยระบบประสาทแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่**

**- การควบคุมที่ศูนย์กลางการหายใจแมดดูล่าร์** **(medullar respiratory center)** ประกอบด้วยศูนย์กลางการหายใจเข้า (inspiratory center) และศูนย์กลางหายใจออก (expiratory center) ทั้งสองศูนย์นี้จะทำงานสลับกันไปในลักษณะยับยั้งกัน เมื่อศูนย์กลางการหายใจเข้าทำงานจะยับยั้งไม่ให้ศูนย์กลางการหายใจออกทำงานได้ (ส่วนใหญ่จะไม่ทำงาน) จึงทำให้มีการหายใจเข้าและหายใจออกสลับกันไป ศูนย์กลางการหายใจทั้งสองมีเซลล์ประสาท 2 ประเภท คือดีอาร์จี (dorsal respiratory group, DRG) และวีอาร์จี (ventral respiratory group, VRG) ส่วนดีอาร์จี (DRG) จะเป็นศูนย์กลางการหายใจเข้า (inspiratory center) ส่วนวีอาร์จี (VRG) จะเป็นศูนย์การหายใจออก (expiratory center) ส่วนของศูนย์กลาง (center) เป็นส่วนที่เกิดจากการรวมกลุ่มกันของเซลล์ประสาทหลายๆเซลล์ ศูนย์กลางแต่ละศูนย์จะทำหน้าที่รับกระแสประสาท (nerve impulse) จากตัวรับความรู้สึก (receptor) ซึ่งเป็นส่วนของเซลล์ประสาทรับความรู้สึก (sensory nerve) เมื่อมีสิ่งกระตุ้นที่ปลายประสาท (dendrite) ของเซลล์ประสาทรับความรู้สึก ก็จะมีการส่งกระแสประสาทผ่านมาทางเส้นประสาทแอฟเฟอร์เรน (afferent nerve) ของประสาทรับความรู้สึก เพื่อส่งกระแสประสาทไปที่ศูนย์กลาง ศูนย์กลางเมื่อรับกระแสประสาทจะออกคำสั่งแล้วส่งมาตามเส้นประสาทสั่งการ (motor nerve) ผ่านเส้นประสาทเอฟเฟอร์เรน (efferent nerve) โดยระบบประสาทสั่งการ (motor nerve) มี 2 ตัวได้แก่เส้นประสาทตัวที่หนึ่ง (first neuron or preganglionic nerve) ซึ่งจะมีการไซแนปส์ (synapes) กับประสาทสั่งการตัวที่สอง (secondary neuron or postganglionic nerve) ซึ่งจะเป็นตัวออกคำสั่งและส่งคำสั่งไปที่อวัยวะเป้าหมาย (target organ) เช่นส่วนของกล้ามเนื้อลายที่ซี่โครง (intercostal muscle) และกล้ามเนื้อกระบังลม (diaphragm) ขบวนการตั้งแต่มีการกระตุ้นจากสิ่งเร้าภายนอกที่ปลายประสาทรับความรู้สึกจนกระทั่งมีการตอบสนองของกล้ามเนื้อโดยการสั่งการจากสมองเรียกว่า reflex arc

สำหรับกลไกในการหายใจเข้าจะเกิดขึ้นเมื่อมีสิ่งกระตุ้นที่ประสาทรับความรู้สึก (sensory nerve) ซึ่งจะส่งกระแสประสาทไปกระตุ้นศูนย์กลางการหายใจเข้า (inspiratory center) ที่ศูนย์กลางการหายใจเข้าจะมีคำสั่งส่งมาที่ปอด โดยจะไปกระตุ้นการทำงานของถุงลมปอดให้ถุงลมมีการยืดออก พร้อมทำให้กล้ามเนื้อที่ซี่โครงส่วนอินเทอร์เนิลอินเทอร์คอสทอล (internal intercostal muscle) ยืดตัว และกล้ามเนื้อที่กระบังลม (ray muscle fiber) เกิดการหย่อนตัวลงมา ดังนั้นเวลาที่เกิดการหายใจเข้ากระบังลมจึงยืดตัวลงมาทางด้านล่างของช่องท้อง ขณะเดียวกันช่องระหว่างกระดูกซี่โครงจะขยายออกไปทางด้านบนจนถึงซี่โครงซี่แรก จะเห็นได้ว่าเวลาหายใจเข้าจะมีความยาวลำตัวมากขึ้น และมีการขยายหน้าอกไปข้างหน้าตามการขยายตัวของกระบังลม

เมื่อกระแสประสาทที่กระตุ้นการหายใจเข้าหยุดลง ศูนย์หายใจออก (expiratory center) จะเริ่มทำงานโดยจะส่งคำสั่งผ่านกระแสประสาท(impulse) ไปที่กล้ามเนื้อเอ็กเทอร์เนิลอินเทอร์คอสทอล (external intercostal muscle) ทำให้เกิดการยืดตัว และสั่งให้ส่วนกล้ามเนื้ออินเทอร์เนิลอินเทอร์คอสทอล (internal intercostal muscle) ที่บริเวณซี่โครงและกล้ามเนื้อที่กระบังลมเกิดการหดตัว รวมทั้งกล้ามเนื้อเรียบรอบๆถุงลมและท่อทางเดนหายใจเกิดการหดตัวเพื่อขับก๊าซออกจากร่างกายผ่านทางลมหายใจออก

**- การควบคุมการหายใจที่ศูนย์หายใจที่สมองส่วนพอนส์** **(pons respiratory center)** ที่สมองส่วนพอนส์มีกลุ่มเซลล์ประสาทที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการหายใจ 2 กลุ่ม ได้แก่ อัพนูเอสติดเซ็นเตอร์ (apneustic center) และ พนูโมเท็กซิกเซ็นเตอร์ (pneumotaxic center) การทำงานของอัพนูเอสติดเซ็นเตอร์ (apneustic center) จะเกี่ยวกับการหายใจเข้าโดยจะทำงานผ่านส่วนศูนย์กลางการหายใจเข้าที่สมองส่วนแมดดูล่าร์ (medullar respiratory center) พบว่าถ้ามีการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าที่อัพนูเอสติดเซ็นเตอร์ (apneustic center) จะเกิดภาวะการหายใจเข้าตลอดเวลา ภาวะนี้เรียกว่าอัพนูลซีส (apneusis) โดยอัพนูเอสติดเซ็นเตอร์ (apneustic center) จะมีการส่งกระแสประสาทมากระตุ้น หรือสั่งการสมองส่วนแมดดูล่าร์ (medullar respiratory center) ทำงาน ส่วนพนูโมเท็กซิกเซ็นเตอร์ (pneumotaxic center) เป็นศูนย์หายใจที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการหายใจเข้า โดยไม่ให้มีการหายใจให้อากาศเข้าที่ปอดมากเกินไป โดยพนูโมเท็กซิกเซ็นเตอร์ (pneumotaxic center) จะส่งกระแสประสาทไปที่สมองส่วนแมดดูล่าร์ส่วนที่เกี่ยวข้อกับการหายใจออก (medullar exspiratory center) และพนูเอสติดเซ็นเตอร์ (apneustic center) ทำให้ศูนย์กลางการหายใจออก (exspiratory center) ทำงาน และยับยั้งการทำงานของอัพนูเอสติดเซ็นเตอร์ (apneustic center)

**ข.การควบคุมการหายใจทางเคมี** ในการหายใจนอกจากจะต้องมีการนำก๊าซออกซิเจนเข้าในร่างกายให้เพียงพอต่อความต้องการเมตาโบลิซึมของเซลล์แล้ว ยังต้องขับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกายให้ได้ในปริมาณใกล้เคียงกันกับปริมาณที่เซลล์ผลิตออกมาด้วย ดังนั้นในการหายใจจึงมีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เกิดขึ้นในเลือด เช่น การเปลี่ยนแปลงปริมาณของก๊าซออกซิเจน การเปลี่ยนแปลงปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งปริมาณไฮโดรเจนอิออน (H+) หรือการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในเลือด การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีผลให้ตัวรับการหายใจทางเคมี (chemorecepstor or respiratory chemoreceptor) ส่งสัญญาณไปที่ศูนย์กลางการหายใจปรับเปลี่ยนกลไกการหายใจจากภาวะที่ผิดปกติให้กลับสู่ภาวะสมดุล ในการหายใจปกตินั้นปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ในเลือด จะมีบทบาทมากที่สุดในการควบคุมการหายใจ

ในร่างกายจะมีตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ 2 กลุ่ม ได้แก่

**- ตัวรับการหายใจทางเคมีที่ระบบประสาทส่วนกลาง (central chemoreceptor)** เป็นตัวรับที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดมาก นอกจากนี้ยังสามารถไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอิอนต่างๆ เช่น ไฮโดรเจนอิออน (H+) และค่า pH ของเลือด แต่ไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของก๊าซออกซิเจนในเลือด ตัวรับการหายใจทางเคมีที่ระบบประสาทส่วนกลางนี้จะพบได้ที่ผิวของสมองส่วนเมดดูลาร์ออบลองกาต้า (medulla oblongata) ตัวรับการหายใจทางเคมีที่ระบบประสาทส่วนกลางนี้จะถูกระตุ้นโดยค่า pH ที่ลดลงเนื่องจากการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในเลือด สมองส่วนนี้เมื่อถูกกระตุ้นจะส่งกระแสประสาทเป็นสันญาณไปที่ศูนย์ควบคุมการหายใจ มีผลให้เกิดการหายใจที่เร็วขึ้นและแรงขึ้นกว่าเดิมเพื่อขับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนเกินออกจากปอด

**- ตัวรับการหายใจทางเคมีที่ระบบประสาทส่วนปลาย (pheripheral chemoreceptor)** เป็นตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เอยู่นอกระบบประสาทส่วนกลางที่พบในเส้นเลือดแดง ทำหน้าที่รับหรือถูกกระตุ้นเมื่อระดับก๊าซออกซิเจน (O2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) และไฮโดรเจนอิออน (H+) ในเลือดเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากปกติ จะพบตัวรับการหายใจทางเคมีที่คาร์โรทิดและเออออทิดบอดี้ (carotid and aortic body) ตรงทางแยกของเส้นเลือดแดงคาร์โรทิด (external และ internal carotid arteries) นอกจากนี้ยังพบตัวรับนี้ที่ผนังของเส้นเลือดแดงใหญ่ในส่วนที่โค้งงอ (aortic arch) โดยตัวรับการหายใจนี้จะตอบสนองต่อการลดลงของก๊าซออกซิเจนในเลือด โดยจะไปกระตุ้นศูนย์ควบคุมการหาย เพื่อเพิ่มความลึกและอัตราในการหายใจให้มากขึ้น กลไกที่ร่างกายใช้ในการปรับความเข้มข้นของ CO2, O2 และ H+ ในเลือดโดยผ่านทางตัวรับการหายใจทางเคมี (chemoreceptor) ซึ่งนับเป็นกลไกรีเฟล็กซ์ (reflex) อย่างหนึ่งเรียกว่า รีเฟล็กซ์ทางเคมี (chemorecepter reflex) นอกจากการควบคุมการหายใจโดยระบบประสาทผ่านศูนย์หายใจที่แมดดูล่าร์และพอนส์ รวมทั้งการควบคุมผ่านสารเคมี เช่น ก๊าซออกซิเจน (O2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) และไฮโดรเจนอิออน (H+) ในเลือดแล้ว การควบคุมการหายใจโดยกลไกรีเฟล็กซ์ก็มีส่วนเกี่ยวข้องด้วย เพื่อปรับการหายใจให้พอเหมาะกับสภาวะนั้นๆ เช่น รีเฟล็กซ์ที่เกิดขึ้นจากตัวรับความดันเลือด (baroreceptor reflex) ซึ่งตัวรับความดันของรีเฟล็กซ์อยู่ภายในเส้นเลือดแดง (carotid and aortic sinuses) การกระตุ้นตัวรับจะมีผลต่อศูนย์กลางการหายใจของสมอง เมื่อความดันเลือดสูงขึ้นอัตราการหายใจจะลดลง เป็นต้น

นอกจากนี้ร่างกายยังสร้างกลไกอื่นขึ้นมา เช่น รีเฟล็กซ์ต่างๆ เพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่เข้าในส่วนของท่อทางเดินหายใจ ได้แก่ การไอ (couch) และ การจาม (sneezing) เป็นต้น

**3. ระบบหายใจของสัตว์ปีก**

เนื่องจากร่างกายของสัตว์มีการเคลื่อนไหวร่างกายอย่างรวดเร็ว เช่น มีการวิ่ง การบิน การเดิน และการส่งเสียงร้อง ร่างกายจึงต้องการใช้ก๊าซออกซิเจนมากสำหรับการดำรงชีวิต ดังนั้นระบบหายใจของสัตว์ปีกจึงต้องมีการพัฒนาที่แตกต่างจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ในการหายใจออกแต่ละครั้งจึงจำเป็นต้องทำให้มีอากาศหลงเหลืออยู่ในปอดให้น้อยที่สุด เพื่อให้ได้รับก๊าซออกซิเจนที่หายใจเข้าได้มากที่สุด โครงสร้างของระบบหายใจที่แตกต่างจากสัตว์อื่นได้แก่ เนื้อเยื่อปอดมีขนาดเล็กกว่าแต่ฝังอยู่ในช่องของกระดูกซี่โครง และขยายตัวได้น้อยกว่า แต่สัตว์ปีกจะมีถุงลมที่เชื่อมต่อกันอยู่ภายในช่องอกและช่องท้อง รวมทั้งสิ้น 9 (ถุง) หรือ ถุงลม 4 คู่ และ 1 ถุงใหญ่ ถุงลมเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการนำก๊าซออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายแต่ไม่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถุงลมดังกล่าวจะเชื่อมต่อกับปอด และกระดูกที่มีลักษณะกลวง (pneumatic bone) ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจและช่วยให้โครงสร้างของร่างกายเหมาะสมกับการบิน

โครงสร้างของระบบหายใจในสัตว์ปีกประกอบด้วย ระบบท่อทางเดินหายใจ (รูจมูก ช่องจมูก กล่องเสียง หลอดลม หลอดเสียง) ปอด และถุงลม

* 1. **ท่อทางเดินหายใจ**

1. **รูจมูก (nostril)** สัตว์ปีกแต่ละชนิดจะมีรูจมูกที่มีรูปร่างต่างๆกันไป ปกติจะพบรูจมูกอยู่ที่ฐานของจงอยปาก รูจมูกอาจถูกปกปิดด้วยขน หรืออาจปิดสนิทด้วยฝาปิด (keratinized) อยู่ที่ขอบด้านบน พบได้ในไก่และไก่งวง
2. **ช่องจมูกหรือโพรงจมูก (nasal cavity)** เป็นช่องว่างอยู่ทีใต้ผิวหนังบริเวณด้านข้างของขากรรไกรบน ใช้เป็นทางผ่านของอากาศเข้าออกจากร่างกายผ่านจากรูจมูกไปทางเพดานปากบน แล้วต่อไปยังหลอดลม ปอด และถุงลม
3. **กล่องเสียง (larynx)** ในสัตว์ปีกกล่องเสียงจะประกอบด้วยกระดูกอ่อน 4 ชิ้นคือ กระดูกอ่อนแอริทินอยด์ (arytenoid cartilage) 2 ชิ้น กระดูกอ่อนไครคอยด์ (cricoid cartilage) และกระดูกอ่อนโปรไครคอยด์ (procricoid cartilage) แต่ไม่มีกระดูกอ่อนเอพิกล็อตทิส (epiglottis cartilage) กระดูกอ่อนไทรอยด์ (thyroid cartilage) กล่องเสียงมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้มีอาหารเข้าไปในระบบหายใจ โดยใช้กระดูกอ่อนโกลทีส (glottis) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เกี่ยวกับการกลืนอาหาร
4. **หลอดลม (trachea)** มีลักษณะเป็นท่อยาวตามความยาวของลำคอเกิดจากการเรียงต่อกันของกระดูกอ่อนรูปวงแหวน (tracheal ring) ที่มีความแข็งมากกว่าในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เนื่องจากเป็นกระดูกที่เต็มวง ไม่เหมือนกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่มีรูปร่างเป็นตัวซี (c shape) สัตว์ปีกจะมีช่องว่างในหลอดลมที่กว้างกว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม จึงหายใจช้ากว่าแต่มีปริมาตรอากาศที่ไหลเข้าในร่างกายมากกว่า
5. **หลอดเสียง (syrinx)** คือส่วนปลายของหลอดลมที่แยกออกเป็น 2 ข้างซ้ายและขวา ประกอบด้วยกระดูกอ่อนที่มีความแข็งเนื่องจากมีการสะสมแคลเซียม (ossified cartilage) หน้าที่ของหลอดเสียงคือการทำให้เกิดเสียง (voice) ซึ่งเกิดจากการสั่นสะเทือนของทิมพานีฟอร์มเมมเบรน (tympaniform membrane)
6. **ขั้วปอด (bronchi or bronchus)** คือ บริเวณที่หลอดเสียง (syrinx) ของสัตว์ปีกแยกออกเป็น 2 ทาง เพื่อแยกเข้าไปยังเนื้อปอดทั้ง 2 ข้าง
7. **ปอด** **(lung)** พบอยู่ที่ด้านบนของตับ เนื้อปอดไม่สามารถแบ่งออกเป็นกลีบๆ (lobe) ได้เหมือนสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยทั่วไปปอดแต่ละข้างจะมีขนาดเล็กและค่อนข้างแบน ปอดของสัตว์ปีกจะมีความยืดหยุ่นได้น้อยกว่า เนื่องจากเนื้อปอดฝังอยู่ในช่องซี่โครง และมีปริมาตรน้อยกว่าปอดในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ในเนื้อปอดจะมีระบบท่อขนาดต่างๆเชื่อมต่อกันอยู่ภายในและมีท่อที่เชื่อมต่อกับถุงลม การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนจากอากาศที่หายใจเข้า และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากับเลือดจะเกิดขึ้นที่เนื้อเยื่อปอดเช่นเดียวกัน
8. **ถุงลม (air sac)** ในสัตว์ปีกเช่นไก่จะมีถุงลม 8-9 ถุง ทำหน้าที่เก็บอากาศที่หายใจเข้ามาและช่วยในการไล่อากาศออกจากปอด นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการทำให้ร่างกายเย็นลงในขณะที่เกิดการบินหรือออกกำลัง โดยการระเหยน้ำในร่างกายผ่านออกทางการหายใจออก ในสัตว์ปีกที่หากินในน้ำถุงลมจะช่วยในการลอยตัวในน้ำ โดยจะทำหน้าที่เหมือนทุ่น ถุงลมที่แทรกเข้าไปในกระดูกปีกส่วนต้น (humerus) จะมีขนาดใหญ่และช่วยในการบินด้วย ถุงลมที่สำคัญได้แก่

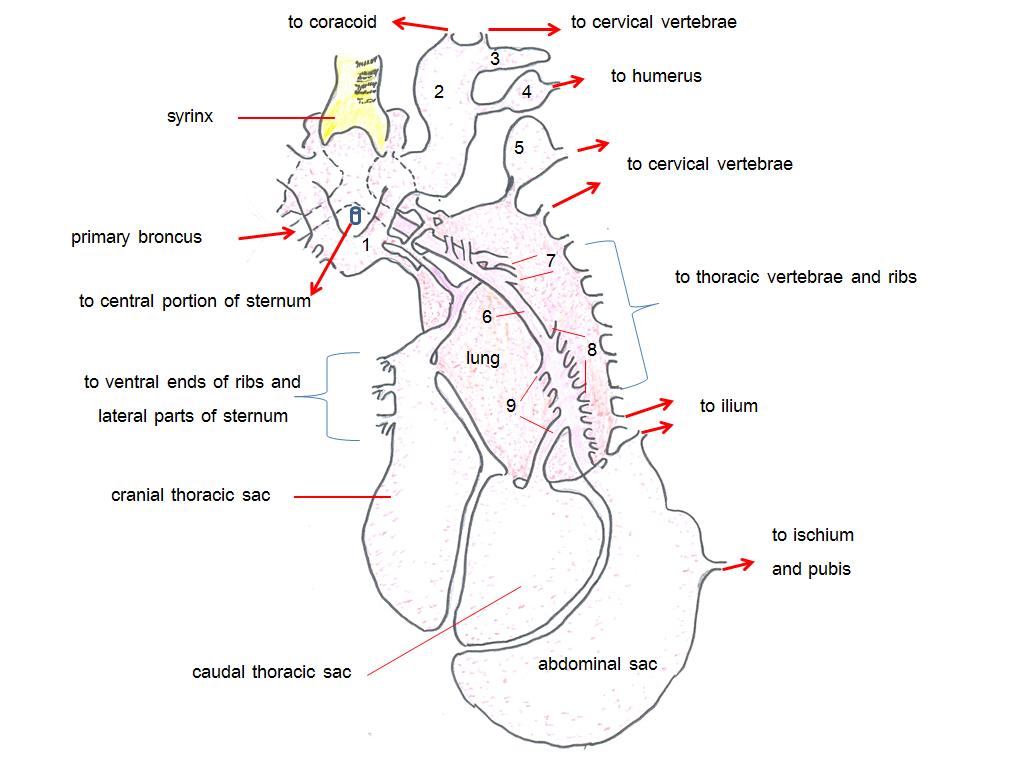
ถุงลมที่บริเวณช่องท้อง (abdominal air sac) จำนวน 2 ถุง

ถุงลมที่บริเวณช่องอกส่วนหน้า (cranial thoracic sac) จำนวน 2 ถุง

ถุงลมที่บริเวณช่องอกส่วนท้าย (caudal thoracic sac) จำนวน 2 ถุง

ถุงลมที่บริเวณคอ (cervical sac) จำนวน 2 ถุง

ถุงลมที่บริเวณไหปลาร้า (intercervical sac) จำนวน 1 ถุง



**ภาพที่ 4.5** แสดงลักษณะถุงลมในสัตว์ปีก

**ที่มา :** ดัดแปลงจาก Frandson et al. (2009)