

فيزيولوجيا الجهاز التنفسي

Respiratory system physiology

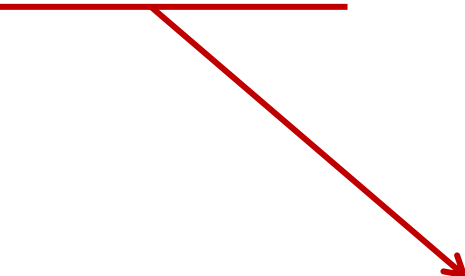
د. ماجد موسى

▶ الجهاز التنفسي:

هو الجهاز الذي يعمل على تبادل الغازات بين الدم وهواء الوسط المحيط

▶ التنفس:

هو مجموع العمليات المؤمنة لاستهلاك الـ O_2 وطرح CO_2 إلى الوسط الخارجي.



تأمين استقلاب الطاقة

► **وحيدات الخلية** يدعى (التنفس بالانتشار): أي انتشار الغازات من خلال غشاء الخلية.

► **الأحياء الدنيا عديدة الخلايا** (كالديدان والحشرات الدنيا): يحدث التبادل الغازي ع/ط الجلد (التنفس الجلدي).

► **الفقاريات الدنيا** (الأسماك والبرمائيات): أعضاء تنفس خاصة (كالغلاصم في الأسماك ويدعى التنفس الغلصمي).

► **الحيوانات العليا**: التبادل الغازي بالكامل في الرئتين (جهاز تنفسي متطور, وعضلات تنفسية متطورة ومكتملة وتشارك في عملية التنفس, والجملة العصبية المركزية التي تنظم التنفس وتكيفه مع ظروف الوسط المحيط)

فزيولوجيا التنفس عند الثدييات

Mammalia respiration physiology

▶ التبادل الغازي عند الثدييات في الحويصلات الرئوية الملاصقة للشعيرات الدموية والكريات الحمر.

▶ الأكسجين يؤمن عمليات الأكسدة الحيوية المحررة للطاقة (ماذا يحدث عند توقف عمليات الأكسدة ؟)



يموت الحيوان خلال بضع دقائق

▶ **التنفس الخارجي:** تبادل الغازات بين الوسط المحيط والحوصلات الرئوية (تهوية الرئتين).

▶ **التنفس الداخلي:** تبادل الغازات بين الدم و الأنسجة ونقلها للخلايا.

▶ **التنفس الخلوي:** إطلاق الطاقة داخل الخلايا الحية بعد أكسدة المواد الغذائية بواسطة الأكسجين.

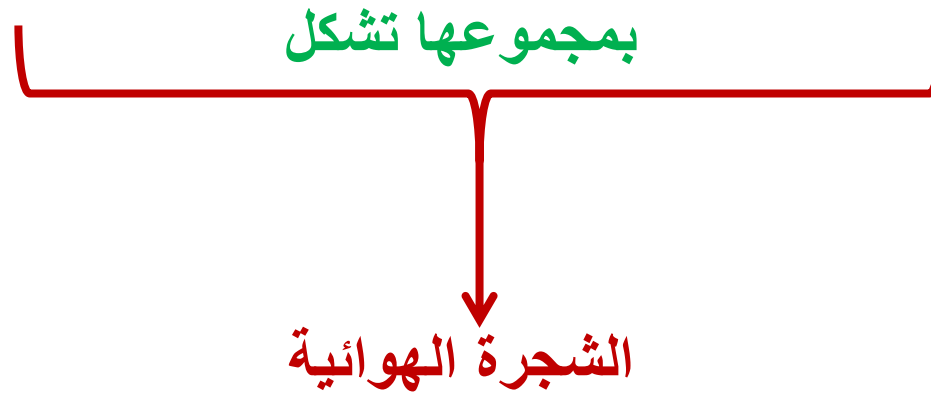
تركيب الجهاز التنفسي:

الأجزاء (الطرق) الظاهرة:

الطرق الباطنة:

الأنف (المنخران) - بلعوم - حنجرة

الرغامى - القصبات - القصيبات - الأسناخ
الرئوية التي تتم فيها المبادلات الغازية.

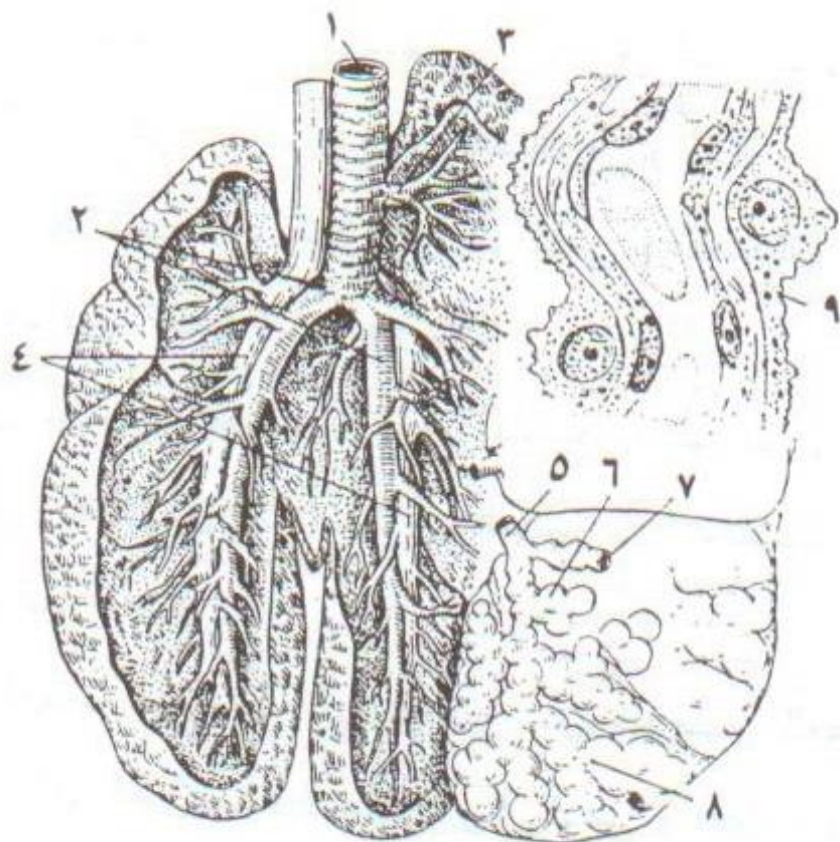


□ يساعد بعملية التنفس كل من:

1- القفص الصدري (الأضلاع والعضلات),

2- غشاء الجنب أو الجنبة Pleura,

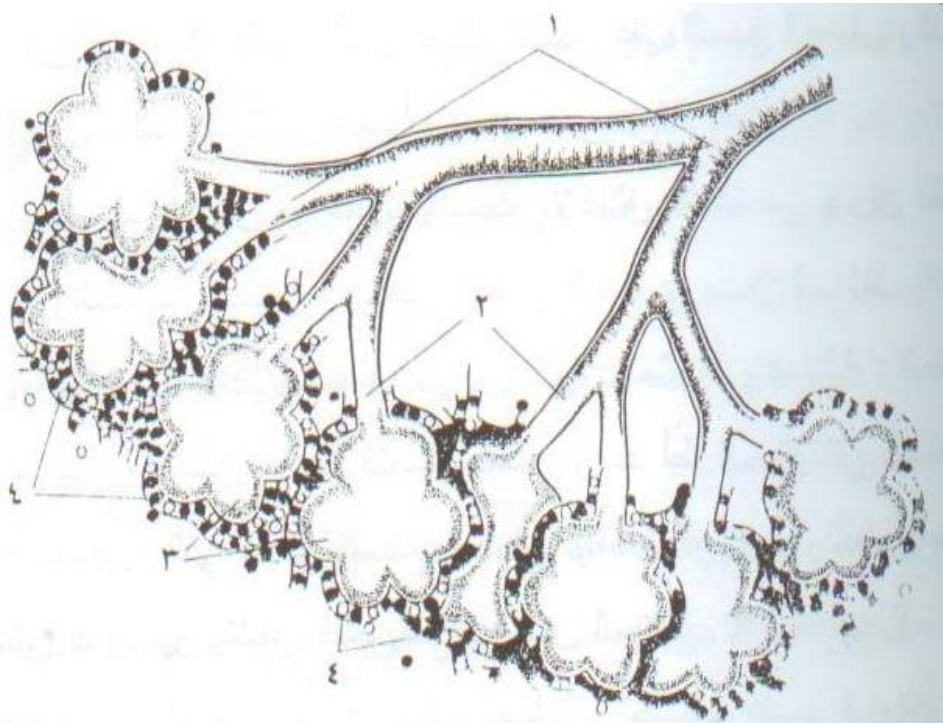
3- الحجاب الحاجز.



بنية الرئتين " بالمجهر الالكتروني "

- ١- الرغامى ، ٢- القصبات اليمنى واليسرى ، ٣- قصبة إضافية للفص القمي ،
- ٤- أفرع الشريان الرئوي ، ٥- قصيبة انتهائية ، ٦- سنخ رئوي
- ٧- قناة سنخية ، ٨- حويصل ، ٩- ظهارة تنفسية

يصل الهواء الخارجي للرئتين ع/ط الممرات الهوائية (أنف, فم, بلعوم, حنجرة, رغامى, القصبة والقصيبات الهوائية).



شكل / ٤٠ / جزء من الرئتين مع الشعيرات الدموية " تكبير شديد "

١- قصيبة انتهائية ، ٢- ممرات حويصلية ، ٣- حويصلات

٤- شعيرات دموية مع الكريات الحمر

القصيبات الهوائية تدخل الرئتين ثم تنقسم إلى قصيبات أصغر قطراً (بحسب القطر يوجد قصيبات أولية وثانوية وثالثية وقصيبات انتهائية التي تشكل بداية القنوات السنخية التي تنتهي بالجيوب السنخية وهي جيوب نصف كروية تتفتح فيها الحويصلات التي يحدث فيها تبادل الغازات).

▶ الحنجرة Larynx:

- عضو عضلي غضروفي, يقوم بدور صمام, حيث تكون الحبال الصوتية الموجودة فيه مع الغضروف الطرجهالي Arytenoid Cartilage الموجود على الجانبين حداً للمزمار Gloottis الذي يستطيع الانضمام مع بعضه بعضاً ليحكم إغلاق الممر الهوائي نهائياً.

▶ الرغامى Trachea:

- انبوب مفتوح دائماً لوجود حلقات غضروفية غير كاملة الاستدارة من الجهة الظهرية حيث يوجد المريء الذي يتمدد داخلها أثناء البلع.
- ترتبط هذه الغضاريف مع بعضها بأربطة مكونة من نسيج ليفي مرن, تتوضع أليافه بشكل متموج نتيجة لذلك فهي تزيد من إمكانية استطالة الرغامى.
- يبطن جدار الرغامى من الداخل غشاء مخاطي يحوي خلايا طلائية ذات أهداب.

القصبات:

- ▶ خارج الرئتين
- ▶ مشابهة للرغامى من حيث البنية,
- ▶ لكن عند دخولها للرئتين تصبح الحلقات الغضروفية قطع منفصلة, وتتوضع هنا الطبقة العضلية.

القصبيات:

- ▶ لا يحتوي جدارها على غضاريف,
- ▶ يحتوي على نسيج عضلي ناعم.

القنوات السنخية:

- ▶ تحتوي كميات من الألياف العضلية الناعمة الملس, لها خاصية المطاطية تجعلها تتمدد أثناء الشهيق وتعود لطبيعتها أثناء الزفير.

يرافق الجيوب السنخية:

- ▶ شريانات تحمل دماً غير مؤكسج
- ▶ ووريدات تحمل الدم المؤكسج

كما توجد حول الأسناخ شعيرات دموية ولمفية وألياف عصبية تسهل عملية تبادل الغازات جدار الحويصلات الرئوية: يتألف من طبقة واحدة من نسيج طلائي تنفسي محاط بشبكة كثيفة من من الشعيرات الدموية الحاوية على طبقة واحدة من الخلايا البطانية, وهكذا فإن الهواء (الموجود في الحويصلات الرئوية) مفصول عن الدم (الموجود في الشعيرات) بطبقتين من الخلايا فقط والتي يحدث من خلالهما تبادل الغازات بسهولة

السطح الذي يحدث عليه التبادل الغازي عظيم جداً: لأنه يحوي الملايين من الحويصلات الرئوية بالإضافة لألياف شبكية وألياف مرنة وخلايا بلعمية طليقة Macrophages تسمى خلايا الغبار (Dust cells) كما يوجد خلايا حاجزية Spetal cells متناثرة تفرز مادة دهنية فوسفورية فعالة على السطح تخفض التوتر السطحي.

السطح الكلي للحويصلات الرئوية في الأغنام 50 - 80 م²

الدوران الدموي الرئوي:

يتميز الدوران الرئوي بما يلي:

- ▶ ضغط الدم في الأوعية الدموية الرئوية أدنى بكثير منه في الدوران المحيطي, وينخفض في فترة الشهيق ويرتفع في فترة الزفير.
- ▶ وجود تماس مباشر بين جدران شبكة الشعيرات الدموية الرئوية وجدران الحويصلات الرئوية المملوءة بالهواء الجوي, أما باقي شعيرات الجسم فتكون بتماس مع السوائل الخلالية.
- ▶ الدم الوارد إلى الرئتين (ع/ط الشرايين الرئوية) مشبع بـ CO_2 , أما الدم الصادر عن الرئتين (بالأوردة الرئوية) إلى القلب فهو مشبع بـ O_2 .
- ▶ لا تتأثر كثيراً هذه الشعيرات بالدفعات العصبية كما هو الحال في باقي أجزاء الجسم.

فوائد الممرات الهوائية:

- ▶ إيصال الهواء الخارجي للرئتين,
- ▶ تنقية الهواء المستنشق من ذرات الغبار,
- ▶ تمدد الهواء بالحرارة لتصل إلى درجة حرارة الجسم,
- ▶ تمده بالرطوبة أثناء مروره فيها (حوالي 75% فيها بينما حوالي 25% يحدث في الأسناخ الرئوية),
- ▶ يتم تمييز الهواء الصالح للتنفس من خلال عصب الشم في مؤخر الغشاء المخاطي لتجويف الأنف

► يوجد في الطبقة المخاطية للطرق التنفسية العليا خلايا مصلية - مخاطية وطلائية ومضانية, حيث يصطاد المخاط المفرز الغبار ويرطب الطرق التنفسية. **أما الحركة الومضانية السريعة لأهداب الخلايا الظهارية** فتساعد على دفع المخاط مع جزيئات الغبار والجراثيم وغيرها نحو البلعوم والفم.

► **ويدفأ** الهواء المستنشق نتيجة للمدد الدموي الغزير للطبقة المخاطية للمجاري التنفسية والحنجرة والرغامى ,

► المستقبلات الحسية في الطرق التنفسية العليا: التي تسبب إثارتها المنعكسات الدفاعية كالسعال والعطاس ...

التنفس الخارجي

External respiration

- هو تبادل الغازات بين الحويصلات الرئوية والوسط الخارجي
- يحدث نتيجة للحركات التنفسية للقفص الصدري:

أثناء الزفير

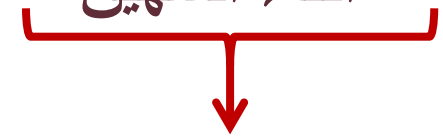


يقل حجم القفص الصدري
(تنحصر الرئتان وينقص
حجمهما)



وهذا يؤدي ارتفاع
الضغط في الحويصلات
الرئوية وخروج الهواء
من الرئتين للوسط
الخارجي

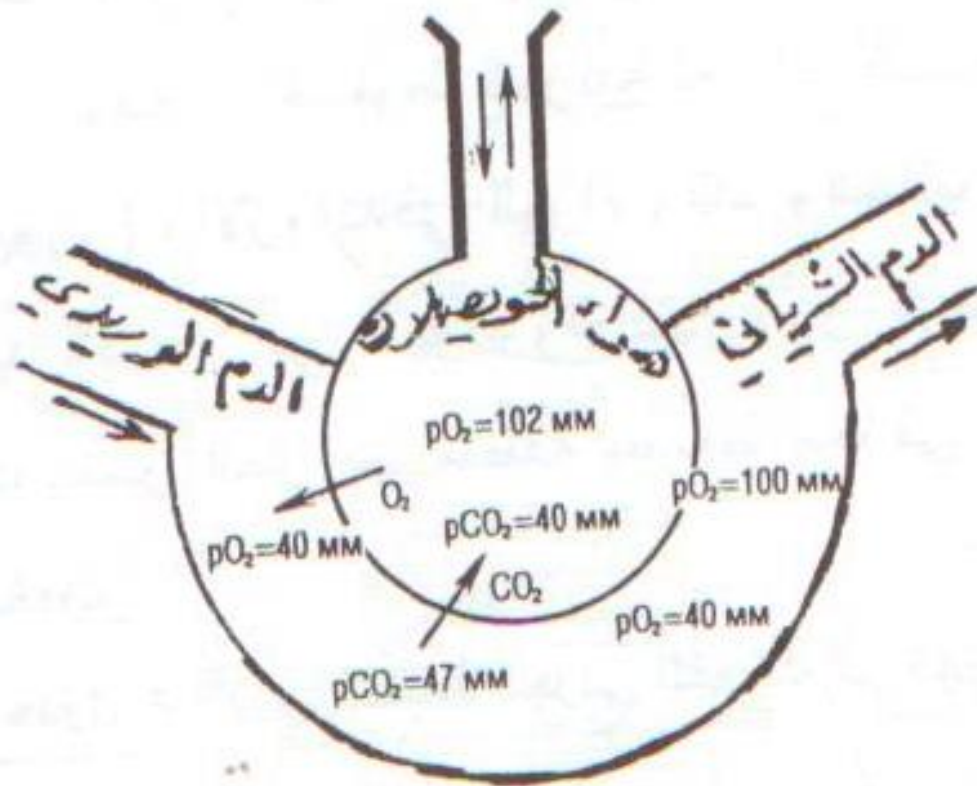
أثناء الشهيق



يكبر حجم القفص
الصدري (بداخله
الرئتان)



وهذا يؤدي لتخفيض
الضغط فيهما مما يؤدي
لمرور الهواء من خلال
الممرات الهوائية إلى
الحويصلات الرئوية



تبادل الغازات خلال
جدران الحويصلات الرئوية

■ يتم تبادل الغازات عند الثدييات بشكل كامل في الرئتين بينما من خلال الجلد والجهاز الهضمي فقط بحدود 1 - 2 %.

■ يزداد التنفس الجلدي عند الخيول أثناء العمل المجهد إلى 8 %.

آلية التنفس :Mechanism of respiration

■ آلية الشهيق:

تتم نتيجة لتوسع القفص الصدري لثلاث اتجاهات:

1- تبدأ بتقلص العضلات الشهيقية (العضلات الوربية) الخارجية بين الأضلاع, والعضلات بين الغضاريف.

2- تحرك أو انخفاض عظم القص إلى الأسفل والأمام مما يساعد بتوسع القفص الصدري.

3- تتقلص ألياف عضلات الحجاب الحاجز وتصبح قوته على شكل مخروط يضغط على الأحشاء الباطنية إلى الخلف.

كما تتقلص العضلة المحيطة للحجاب الحاجز والعضلة المنشارية التي تسحب أضلاع المؤخرة للخلف وهذا يؤدي لتوسع القفص الصدري بالاتجاه الأمامي الخلفي.

■ آلية الزفير:

تتم نتيجة لتقلص القفص الصدري وصغر حجمه (توقف الشهيق شرط أساسي لحدوث الزفير):

1- يبدأ **باسترخاء** العضلات الشهيقية والحجاب الحاجز الذي يعود عن تحدبه إلى وضعه الأصلي باتجاه القفص الصدري ويساعد على ذلك دفع أعضاء البطن للحجاب إلى الأمام.

2- عودة الأضلاع (القفص الصدري) إلى وضعها السابق نتيجة لمرونة الغضاريف ولثقله الخاص.

هذا يؤدي لانخفاض القفص الصدري وصغر حجمه وارتفاع الضغط في الجوف الصدري وبذلك يخرج الهواء من الرئتين (أي الزفير)

□ يدعى ما سبق بالزفير المنفعل Passive: نتيجة لاسترخاء العضلات المذكورة سابقاً,

□ ولكن أثناء الزفير الفعال الإيجابي (زفير بجهد Forced expiration):
تتقلص العضلات الوربية الداخلية والعضلة المنشارية الخلفية السفلية وكذلك عضلات البطن.

✓ يتم الشهيق بسرعة أكبر من الزفير (فعند الأبقار يكون التناسب الزمني للشهيق إلى الزفير 1 : 1.2)

■ مرونة الرئتين Elasticity of Lungus:

تمتلك الرئتين المرونة نتيجة لـ:

1- وجود كمية كبيرة من الألياف المرنة في جدران الحويصلات الرئوية.

2- التوتر السطحي للغلالة السائلة الرقيقة المغطية للسطح الداخلي لجدران الحويصلات الرئوية (تقدر ب $3/2$ القوة المرنة المحركة للرئتين).

هذه الغلالة تتكون من: شحميات سائلة (فوسفوليبيدات) غير منحلة بالماء فعالة بالسطح تفرزها الخلايا الحاجزية في الأسناخ الرئوية والتي تثبت التوتر السطحي أثناء الشهيق: تتوزع جزيئات المادة الفوسفورية الفعالة بالسطح بالقرب من بعضها البعض بأقل كثافة وهذا يؤدي لتقوية التوتر السطحي وعلى العكس أثناء الزفير تتوضع هذه الجزيئات بكثافة أكبر وهذا يخفض التوتر السطحي ويمنع التصاق الحويصلات وانخماص الرئتين.

■ النماذج التنفسية:

1- الضلعي أو الصدري: تتم بشكل أساسي على حساب حركة الأضلاع, (عند الكلاب) .

2- البطني أو الحجابي: يحدث فيه توسع القفص الصدري بشكل أساسي على حساب تقلص الحجاب الحاجز.

3- الضلعي البطني: تشارك في الشهيق بشكل متساو العضلات بين الأضلاع والحجاب الحاجز والعضلات البطنية (كما في الحيوانات الزراعية).

■ سرعة (تواتر) التنفس :Respiratory frequency

■ تختلف باختلاف الحيوان, وحتى في الحيوان الواحد تختلف باختلاف الجنس, العمر, الحجم, الوزن, الجهد, المرض, درجة امتلاء الجهاز الهضمي, البيئة المحيطة بالحيوان (من حرارة وضغط جوي ... إلخ).

■ فعند الأبقار 18 - 28 مرة/د, الأغنام والماعز 10 - 20 مرة/د, الخيول 10 - 14 مرة/د, الدجاج 15 - 30 مرة/د, الأرانب 50 - 60 مرة/د أما الإنسان 16 - 20 مرة/د

■ تتأثر سرعة التنفس بالعوامل التالية:

- 1- **حجم الحيوان:** تتناسب سرعة التنفس عكسياً مع حجم الحيوان (يلاحظ قلة سرعة التنفس عند الحيوانات ذات الحجم الكبير والعكس بالعكس).
- 2- **إنتاج الحيوان:** تزداد سرعة التنفس عند الحيوانات المنتجة وذات الاستقلاب النشط.
- 3- **الجنس:** سرعة التنفس أعلى عند الإناث مما هو عليه عند الذكور.
- 4- **العمر:** تتناقص مع تقدم العمر.
- 5- **درجة حرارة الوسط المحيط:** تزداد عند ارتفاع الحرارة (للتخلص من الحرارة الزائدة).
- 6- **الحمل:** تزداد أثناء الحمل.
- 7- **التغذية وامتلاء المعدة:** تزداد بعد الغذاء وامتلاء المعدة خاصة عند المجترات.
- 8- **حرارة الجسم:** تزداد عند ارتفاع حرارة الجسم الداخلية.

■ تهوية الرئتين:

✓ كمية الهواء المستنشقة أو المارة خلال الرئتين في دقيقة واحدة تسمى **حجم التهوية الرئوية في دقيقة**.

وهو مقدار متغير تابع لنظم التنفس والسعة الحيوية للرئتين وشدة العمل وخواص العليقة والوضع الصحي للرئتين وعوامل أخرى ...

✓ **أما تهوية الحويصلات الرئوية:** فهي عبارة عن تعوية الرئتين ناقص تهوية الحيز الميت (البلعوم والحنجرة والرغامى والقصبية والقصيبات)



لذلك فإن حوالي 70% من الهواء المستشق يصل مباشرة للرئتين والجزء الباقي 25 - 30 % لا يشارك في التبادل الغازي حيث يبقى في الحيز الميت

■ مثال: إذا علمنا أن حجم الحويصلات عند الخيول 22 ليتر، وأن الحصان يستنشق أثناء الراحة 5 ل هواء



إذاً الـ 70 % التي تصل للحويصلات تساوي 3.5 ل أي يتجدد في كل شهيق 6/1 من الهواء أي 3.5 : 22

■ تناسب الهواء المستنشق إلى هواء الحويصلات يسمى بـ **معامل التهوية الرئوية Lung Ventilation coefficient**

■ تركيب هواء
الشهيق (الهواء
الجوي):

20.82 %
أكسجين

0.03 % Co_2
79.03 %
أزوت.

هواء الحظائر
يحتوي نسبة أكبر
من الـ Co_2 من
وبخار ماء وأمونيا
وغيرها

■ تركيب هواء

الزفير: وهو خليط من
هواء الأسناخ الرئوية
بعد التبادل الغازي.

■ الهواء في الممرات
التنفسية في نهاية
الشهيق فيحتوي:
16.3 % أكسجين

4 % Co_2

79.7 % أزوت.

هذه المؤشرات حسبت
على أساس الهواء
الجاف بعد طرح نسبة
بخار الماء المشبع به
هواء الزفير

■ تركيب هواء

الحوصلات:

يختلف عن هواء

الزفير باحتوائه على
نسبة أكبر من Co_2 و

نسبة أقل من

الأكسجين, فهو يحوي:

14.2 - 14.6 %

أكسجين

5.62 % Co_2

80.48 % أزوت.

■ تركيب هواء الزفير غير ثابت وتابع لـ:

■ نشاط استقلاب المواد في الجسم

■ حجم التهوية الرئوية

■ درجة حرارة الهواء المحيط

■ ... وغيرها

■ التركيز الأقصى المسموح به من في هواء الحظائر وفي

تربية العجول 0.25 %

■ أما نسبة 1 % فتسبب اللهاث والربو وزيادة تهوية الرئتين

بنسبة 20 %.

التنفس الداخلي

internal respiration

- التبادل الغازي عبر الحاجز الهوائي الدموي عن طريق البنية الخاصة لجدران الحويصلات والشعيرات الدموية, حيث تتكون جدران الأسناخ من ظهارة مسطحة مكونة من طبقة واحدة من الخلايا, يلاصق هذه الطبقة شعيرات دموية كثيفة جدارها مكون من صف واحد من الخلايا البطانية, يسير فيها الدم **ببطء** يمكن من تبادل الغازات مع الهواء الموجود في الأسناخ تحت فرق الضغط الجزيئي لهذه الغازات.

ربط الأكسجين بالدم ونقله:

- ينحل الـ O_2 الواصل للدم في المصورة الدموية بكمية بسيطة لاتزيد عن 3% (أي 0.03 مل / 100 مل دم) وذلك لصعوبة ذوبان الأكسجين في المصورة.
- أما الجزء المتبقي منه 97% فيمر لداخل الكريات الحمر, حيث يرتبط مع خضاب الدم (Hb) مشكلاً خضاب الدم المؤكسج
- عند زيادة الضغط الجزئي يزداد تشبع الخضاب بالأكسجين حتى تشبع كل جزيئات الخضاب (نقطة التشبع الكامل)
- درجة تشبع الدم الواصل من الرئتين إلى الأذين الأيسر في الظروف السوية من 96-98 % (وهي أقصى درجة تشبع للدم الشرياني في الضغط الجزئي للأكسجين في الشرايين), أما في الأنسجة فتتخفض درجة تشبع الدم إلى 70% عندما يكون الضغط الجزئي للأكسجين 40 مم زئبق (وهو الضغط الجزئي للأكسجين في الدم الوريدي في الأنسجة, لذا ينفك الأكسجين عن الخضاب)

سعة الدم الأكسجينية:

- وهي كمية الأكسجين التي يمكن أن يربطها 100 مل دم عند التحول الكامل لخضاب الدم (Hb) إلى خضاب الدم المؤكسج (HbO_2).
- كل 1 غ خضاب يمكن أن يربط 1.34 مل أكسجين وبالتالي إذا احتوى الدم على 14 % خضاب فبإمكانه ربط 19 مل أكسجين.
- السعة الأكسجينية للدم عند أغلب الحيوانات بين 14.2 - 19.8 حجم %
- مثلاً : عند الأبقار 15.4 حجم % , الأغنام 16.9 , الأرانب 16 , الدجاج 15 , الخنازير 17.8.

ربط الدم لثاني أكسيد الكربون ونقله:

- يوجد في الدم الوريدي 50 - 58 حجم % CO₂ , القسم الأكبر منه يوجد في المصورة الدموية والكريات الحمر على شكل حمض الكربونيك وحوالي 2.5 حجم % بشكل ذائب و 4 - 5 % مرتبط مع الخضاب على شكل خضاب الدم المكربن (كربوكسي هيموغلوبين).
- ينتشر CO₂ المتشكل في الأنسجة بسهولة في دم شعيرات الدوران الدموي المحيطي (لأن توتره في الأنسجة أعلى بكثير منه في الدم الشرياني)
بعد ذلك يتغلغل الـ CO₂ المنحل في المصورة لداخل الكريات الحمر حيث يتحول تحت تأثير أنزيم Carbonic anhydrase إلى حمض الكربونيك
($CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$)
بما أن كل ثاني أكسيد الكربون في مصورة الكريات الحمراء يتحول إلى حمض الكربونيك فإن توتر الـ CO₂ داخل الكريات الحمر ينخفض للصفر
نتيجة لذلك: يصل باستمرار دفعات جديدة من الـ CO₂ إلى الكريات الحمر.
ويرافق تحول خضاب الدم المؤكسج إلى خضاب مختزل زيادة مقدرة الدم على ربط ثاني أكسيد الكربون (هذه الظاهرة سميت **فعل هالدين** **Holdin effect**)

يتشكل في شعيرات الأنسجة كمية إضافية من بيكربونات البوتاسيوم وكذلك خضاب الدم المكربن , أما في مصورة الدم فتزداد كمية بيكربونات الصوديوم



تصل البيكربونات مع الدم إلى شعيرات الدوران الدموي الرئوي, حيث يحدث في الكريات الحمر العملية المعاكسة ويمر ثنائي أكسيد الكربون المتحرر من الدم إلى هواء الحويصلات بحسب قانون الانتشار.

تبادل الغازات في الرئتين:

يتم انتشار الغازات بحسب قانون الانتشار الفيزيائية أي ينتقل من التركيز المرتفع إلى التركيز المنخفض.

اتجاه حركة الـ O_2 و CO_2 بين الهواء والرئتين أو بين الرئتين والدم أو بين الدم والخلايا فتحدده الضغوط الجزئية لغازات التنفس (O_2 و CO_2) والأزوت في الهواء والدم والخلايا حيث ينتشر الغاز من منطقة الضغط الجزئي المرتفع إلى منطقة الضغط الجزئي المنخفض.

يتم الانتشار في الرئة الطبيعية السليمة عبر الأغشية بسرعة كبيرة جداً إذ يحدث التوازن بأقل من ثانية

هناك مجموعة من العوامل تؤثر في حجم التبادل التبادلي الغازي عبر الحاجز الهوائي -
الدموي وهي:

- 1- الحاجز الهوائي الدموي رقيق جداً (1-4 ميكرون) مما يساعد على تبادل الغازات. فإذا زادت ثخانتها (أثناء الوذمة الرئوية أو تليف الحاجز أو النفاخ) مما يصعب تبادل الغازات ويزداد تراكم CO_2 في الجسم وتتنخفض كمية الـ O_2 .
- 2- قابلية ذوبان الغازات في السوائل: قابلية ذوبان CO_2 أكثر بـ 20 مرة من O_2 .
- 3- اختلاف الضغوط الجزئية للغازات على طرفي الحاجز الهوائي الدموي (في الدم والأسناخ).
- 4- الضغط في تجويف الجنبه (غشائين أحدهما يحيط بالرئة والثاني يلتصق بالأضلاع): وهو سلبي دائماً وأقل من الضغط الجوي.
- 5- مساحة السطح التنفسي: وهي كبيرة جداً بالأحوال العادية وأكبر من مساحة الجلد بمرات عديدة وهذا تابع للمساحة الكلية للأسناخ الرئوية الفعالة (هذه المساحة عند الإنسان تعادل 50 ضعفاً لمساحة الجلد).
- 6- السرعة البطيئة لجريان الدم في الأوعية الشعرية المحيطة بالأسناخ الرئوية التي تمكن من انتشار الغازات بأقل من ثانية.
- 7- الضغط الجوي: يتأثر الضغط الجزئي بتغيرات الضغط الجوي، ففي المناطق المرتفعة ينخفض الضغط الجوي مما يؤدي لصعوبة واضطراب التنفس في هذا الارتفاع، حيث تتسارع عملية التنفس بسبب هبوط الضغط الجزئي للأكسجين.
- 8- معدل التنفس في الدقيقة.

تبادل الغازات في النسيج:

يتخلل الدم عن الأكسجين في الأنسجة ويربط ثاني أكسيد الكربون , وبما أن توتر CO_2 في الأنسجة 60 - 70 مم زئبق وفي الدم الوريدي فقط 46 مم زئبق وبالتالي فإنه ينتشر من الأنسجة إلى الدم عبر السائل الخلالي ليحوّله إلى دم وريدي.

ينخفض توتر الأكسجين في الجبلة الخلوية Protoplasm ويمكن أن يصبح صفراً , ونتيجة لذلك يتغلغل الأكسجين بسرعة من دم شعيرات الدم المحيطي (حيث توتره يساوي 100 مم زئبق وأكثر) إلى السائل الخلالي (حيث ضغطه 20 - 37 مم زئبق).

تستهلك الأنسجة حوالي 40 % من الدم كل الأكسجين الموجود في الدم الشرياني, ولكن أثناء العمل العضلي الشديد يصل استهلاك الأكسجين إلى 50 - 60 % .
تدعى النسبة المئوية للأكسجين المستهلك في الأنسجة من المحتوى العام للأكسجين في الدم الشرياني بـ **معامل استهلاك الأكسجين** ويمكن حسابه بتحديد الفرق في محتوى الأكسجين في الدم الشرياني والوريدي.

يساعد ارتفاع معامل استهلاك الأكسجين على: **1-** التشكل الكبير لحمض اللبن وحمض الكربونيك في أثناء العمل العضلي الشديد. **2-** فتح الشعيرات غير الفعالة في النسيج العامل.

التنفس الخلوي

- هو سلسلة العمليات الاستقلابية الحادثة داخل الخلايا والتي ينتج عنها تحرير طاقة بعد الأكسدة الفيزيولوجية.
- تشمل هذه الأكسدة :
 - 1- إعطاء أو نزع الأكسجين.
 - 2- ربط الأكسجين.
 - 3- نقل الإلكترون أو تبديل التكافؤ.

- تبدأ الأكسدة بنزع الهيدرجين، حيث تقوم أنزيمات ديهيدراز بتنشيط الهيدرجين الداخل بتركيب المادة المؤكسدة، بعد ذلك يتحد الأكسجين بالهيدرجين ويتشكل الماء، وتحدث هذه العملية بمشاركة الإنزيمات التنفسية. وتشارك في عمليات الأكسدة إنزيمات البيروكسيداز والأوكسيداز.
- يساهم في التنفس الخلوي مجموعة السيتوكروم (سيتوكروم و السيتوكروم أوكسيداز) وكذلك نواقل مجموعات الأمين والفوسفات. ((السيتوكروم والفلافوبروتينات هي نواقل الهيدرجين)).
- شدة التنفس الخلوي تابعة لنوع الحيوان وإنتاجيته.
- يصاحب هذه العمليات: 1- إنتاج CO_2 و ماء. 2- تبادل غازي التنفس بين الخلايا والشعيرات الدموية بسبب فروق الضغوط الجزئية.
- الضغط الجزئي للأكسجين في الأنسجة حوالي 40 مم زئبق وفي الدم حوالي 1.2 مم زئبق لذا ينتقل الأكسجين من الشعيرات الدموية عبر السائل الخلالي إلى داخل الخلايا.
- أما الضغط الجزئي للـ CO_2 داخل الخلايا 47 مم زئبق وفي الدم 40 مم زئبق لذا يكون انتقاله بالعكس من الخلايا إلى الشعيرات الدموية عبر السائل الخلالي.
- يتم تخزين الطاقة الناتجة عن عمليات الاستقلاب على شكل ثالث فوسفات الأدينوزين ATP و فوسفات الكرياتين لحين استعمالها في العمليات الاستقلابية أو النشاطات العضلية والنقل الفعال للمواد الغذائية مثل الغلوكوز عبر الأغشية الخلوية.

التنفس الجنيني (الشهيق الأول)

■ يحدث التبادل الغازي أثناء التطور الجنيني من خلال الأوعية الدموية السرية المتصلة بشكل وثيق مع دم الأم في المشيمة, هذا الارتباط ينقطع أثناء الولادة ويؤدي إلى:

- 1- الانخفاض الحاد لتوتر الأكسجين.
 - 2- التجمع السريع لثاني أكسيد الكربون.
 - 3- تراكم نواتج الاستقلاب الأخرى.
- كل ذلك يحدث في دم الجنين



لذلك تتنبه عصبونات المركز التنفسي للجنين, وهذا ما يسبب حدوث الشهيق الأول

يجب أن ينقطع تنفس الجنين من خلال دم الأم بسرعة وفجأة, فالضغط البطيء على أوعية السرة لا يؤدي لإثارة وتنبيه المركز التنفسي ويمكن للجنين أن يموت دون حدوث الشهيق.

تنظيم عملية التنفس

Regulation of respiration

- التنفس: هو فعل انعكاسي لا إرادي منظم ذاتياً، وهو مجموعة العمليات التي يتم بنتيجتها التبادل الغازي بين الجسم والوسط المحيط.
- يشرف الجهاز العصبي المركزي على عمليات التنفس، والدور الأساسي في هذا يعود للمركز التنفسي Respiratory center المتوضع في التكوين الشبكي على جانبي ساق الدماغ في البصلة وجسر فارول.
- يتكون هذا المركز من ثلاث مجموعات من العصبونات هي: **1- المجموعة التنفسية الظهرية: الممتدة على طول القسم الظهري للبصلة، وتسبب الشهيق بصورة رئيسية. 2- مركز تنظيم التنفس (المنظم الرئوي):** يقع في القسم العلوي من ظهر الجسر، ويساعد بالتحكم بمدة الشهيق ويزيد سرعة التنفس. **3- المجموعة التنفسية البطنية:** توجد في القسم البطني الوحشي من البصلة في النواة الملتبسة Nucleus ambiguus باتجاه الرأس وفي النواة خلف الملتبسة باتجاه الذنب، وتسبب الزفير أو الشهيق وذلك اعتماداً على العصبونات المنبهة في هذه المجموعة.

4- مركز قطع التنفس Pneustic center: من المحتمل وجوده في القسم السفلي من الجسر, وظائفه غير معروفة حتى الآن ولكن يعتقد بأنه يتعاون مع المركز المنظم للتنفس للتحكم في عمق الشهيق.

5- قشرة المخ: هي المركز المنظم والملائم للتنفس للأوضاع المتغيرة للجسم وإلى تبدلات شروط الوسط الخارجي, بحيث تتناسب كمية التهوية الرئوية مع الأنشطة الحيوية للحيوان, فخلايا قشرة المخ ترسل دفعات عصبية إلى مركز التنفس في البصلة تحثه فيها على زيادة معدل التنفس أو خفضه تبعاً لزيادة تركيز CO_2 أو نقص تركيز O_2 .

التنظيم الكيميائي للتنفس:

□ يعد التركيب الكيميائي للدم من العوامل المهمة جداً في تنظيم التنفس وبخاصة تراكيز الأكسجين و ثاني أكسيد الكربون والهيدرجين, لذلك يعد الهدف الرئيسي للتنفس هو المحافظة على تراكيز مناسبة لهذه الغازات في النسيج.

□ زيادة تركيز CO_2 أو شوارد الهيدرجين تثير المركز التنفسي نفسه لذلك تزداد الاشارات الشهيقية والزفيرية الصادرة إلى العضلات التنفسية كثيراً.

□ أما الـ O_2 فلا يملك أي تأثير مهم مباشر على المركز التنفسي في الدماغ لتنظيم التنفس ولكنه يؤثر بشكل كامل تقريباً في المستقبلات الكيميائية المحيطية المتوضعة في الأجسام السباتية والأبهرية التي تصدر بدورها إشارات عصبية مناسبة إلى المركز التنفسي لتنظيم التنفس.

□ تختلف سرعة وتردد الحركات التنفسية باختلاف الحيوان وهي تتبع للعمر ونوع الحيوان و مستوى استقلاب المواد في الجسم وحرارة الوسط المحيط والضغط الجوي وعوامل أخرى عديدة.

□ مثلاً تردد التنفس عند الخيول 8 - 12 مرة/د, الأبقار 10 - 30 مرة/د, الأغنام 8 - 20, الأرانب 10 - 15, الخنازير 8 - 18, الماعز 10 - 18, الفأر 200

□ التنفس عند حديثي الولادة أكثر سرعة وتنخفض مع النمو تدريجياً. عند العجول تنخفض من 67 عند الولادة إلى 22 في الشهر الـ 11 من العمر.

□ سرعة التنفس تابعة لنشاط استقلاب المواد. مثلاً عند الأبقار عالية الإنتاج سرعة التنفس 30 أما عند متوسطة الإنتاج 15 - 20 حركة تنفسية بالدقيقة.

□ عند ارتفاع حرارة الوسط المحيط من 20 - 40 مْ تزداد سرعة التنفس عند العجول بعمر 6 أشهر من 29 إلى 86 حركة تنفسية / د، وعند الابقار بنفس الظروف من 16 إلى 32 حركة تنفسية / د.

□ عند انخفاض حرارة هواء الوسط المحيط تنخفض سرعة التنفس أما عمق التنفس فيزداد.

□ يصبح التنفس أكثر سرعة أثناء العمل العضلي والتهيج العاطفي والهضم، ويصبح نادراً وأقل سرعة وقت النوم، وعند زيادة سرعة التنفس ينخفض عمقه.

□ الضغط الجوي المنخفض (كما في المرتفعات) يؤدي لانخفاض الضغط الجزيئي للأكسجين في هواء الحويصلات إلى 55 - 60 مم زئبق وأقل، لذلك يهبط تشبع الدم بالأكسجين (يدعى عوز الأكسجين) (يمكن أن يحصل عوز الأكسجين أيضاً أثناء التهوية غير الكافية للرئتين أو تشوش وظائف المركز التنفسي أثناء تسمم الحيوان وغيرها).

يؤدي انخفاض تشبع الدم بالأكسجين إلى 14 - 35 % إلى: 1- تشنج الأوعية الدموية. 2- توقف النشاط الكهربائي الحيوي لعصبونات الدماغ.

بعض سلالات الماعز الجبلية المتكيفة مع ظروف نقص الأكسجين في المرتفعات لوحظ لديها: 1- المحتوى المرتفع للكريات الحمر في الدم. 2- الاحساس المنخفض لعصبونات الدماغ لنقص الأكسجين. 3- المحتوى العالي للخضاب في الدم.

الضغط الجوي المرتفع: عند ارتفاع الضغط الجوي (كالغوص في الأعماق حيث ينخفض ضغط الهواء إلى 8 - 10 ضغط جوي) يمر أوزون الهواء إلى الدم (ينحل) بكمية تتناسب مع الضغط. وعند التحول السريع من الضغط المرتفع إلى الضغط المنخفض يخرج الأوزون بسرعة من الدم مشكلاً فيه فقاعات يمكن أن تسد الأوعية الدموية (الانصمام الهوائي) يمكن أن يؤدي للموت. لذا يجب خفض الضغط تدريجياً وهنا يبدأ الأوزون بالخروج تدريجياً من الدم إلى هواء الرئتين.

التنفس والعمل العضلي

أثناء العمل المجهد تزداد تهوية الرئتين كثيراً

وترتفع سرعة التنفس

في بداية العمل العضلي المجهد تكون كمية O_2 غير كافية لتأمين الحاجة المتزايدة له

نتيجة لذلك لا يتأكسد حمض اللبن المتشكل بشكل كامل إلى H_2O و CO_2 ويتجمع بسرعة في العضلات وتصل بكميات كبيرة للدم تسمى هذه الحالة بالدين الأكسجيني

حمض اللبن المتجمع في العضلات يصل إلى 100 200 ملغ بدلاً من 15 - 24 في النشاط الطبيعي

نتيجة لذلك يزداد ويرتفع توتر CO_2 في الدم الذي ينبه مركز التنفس مما يسبب اللهاث وزيادة عدد ضربات القلب وارتفاع ضغط الدم

خواص التنفس عند الطيور

يختلف التنفس عند الطيور من الناحية الشكلية والوظيفية عن التنفس عند الحيوانات الثديية. فعند الطيور:

- 1- عظم القص نام بشكل جيد وأكبر مما هو عليه عند الثدييات فهو يمتد كثيراً للخلف ويغطي قسماً كبيراً من البطن.
- 2- الأضلاع الصادرة عن العمود الفقري لا تصل إلى عظم القص بل تخرج من عظم القص زوائد باتجاه الأضلاع وترتبط معها بالغضاريف (لذا القفص الصدري عندها قابل للحركة أكثر من القفص الصدري عند الثدييات).
- 3- الرغامى طويلة نسبياً والرئتين صغيرتي الحجم.
- 4- تلتصق الرئتان مع الأضلاع ولهذا فهي تتمدد وتنبسط مع تمدد وانبساط القفص الصدري.
- 5- لا تستطيع الرئتان عند الطيور النكوص بمرونة كما يحدث عند الثدييات لالتصاقها مع الأضلاع.
- 6- اختفاء الحجاب الحاجز.
- يوجد عند الطيور أكياس هوائية.

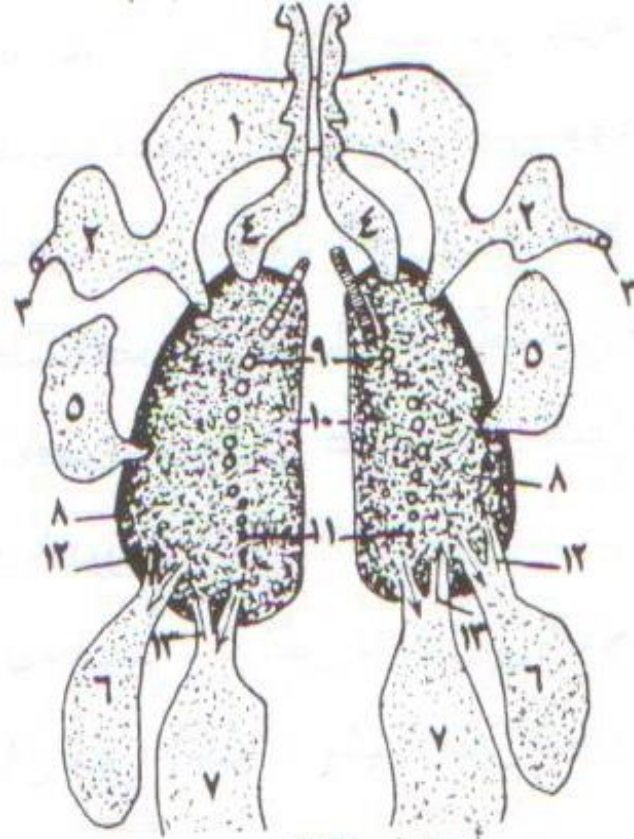
■ الأكياس الهوائية عند الطيور متطورة ومتوضعة في تجويفي الصدر والبطن ومتغلغلة في العظام الطويلة, لا يحدث فيها التبادل الغازي ولكنها تقوم بما يلي:

■ 1- خزانات احتياطية للهواء.

■ 2- تسهل طيران الطيور وتجعله مريحاً.

■ 3- تحفظ الطيور من فرط التسخين.

■ 4- تساعد الطيور المائية على الطفو فوق سطح الماء.

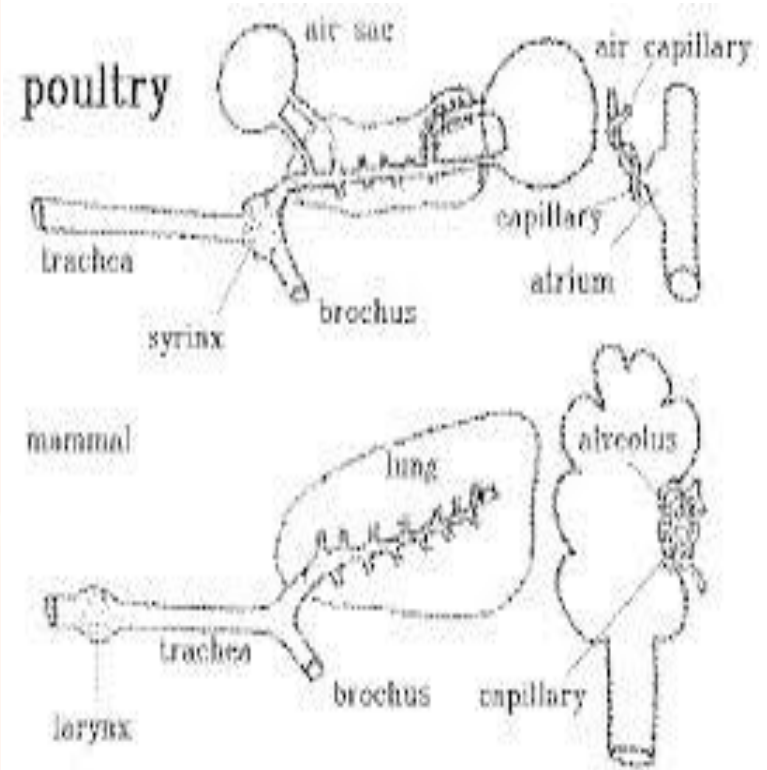
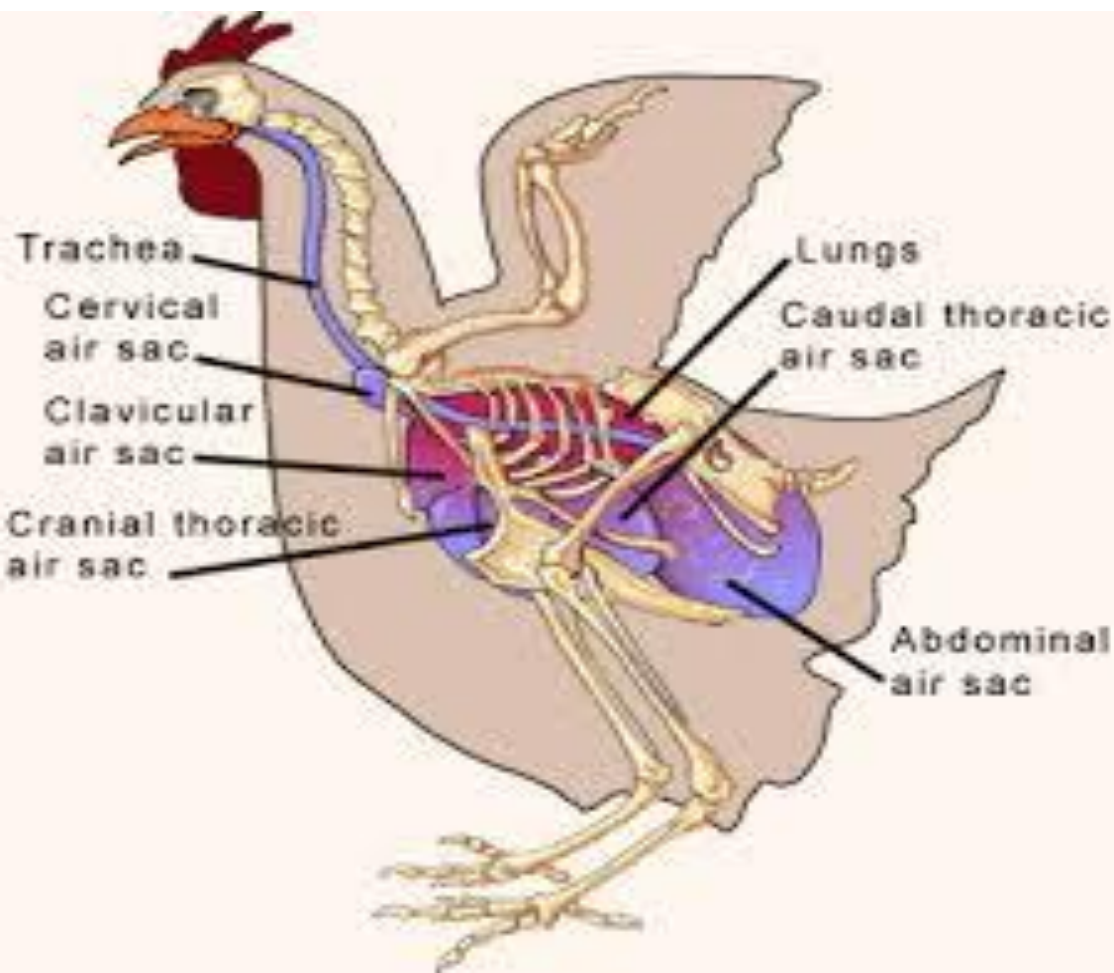


أعضاء التنفس عند الطيور

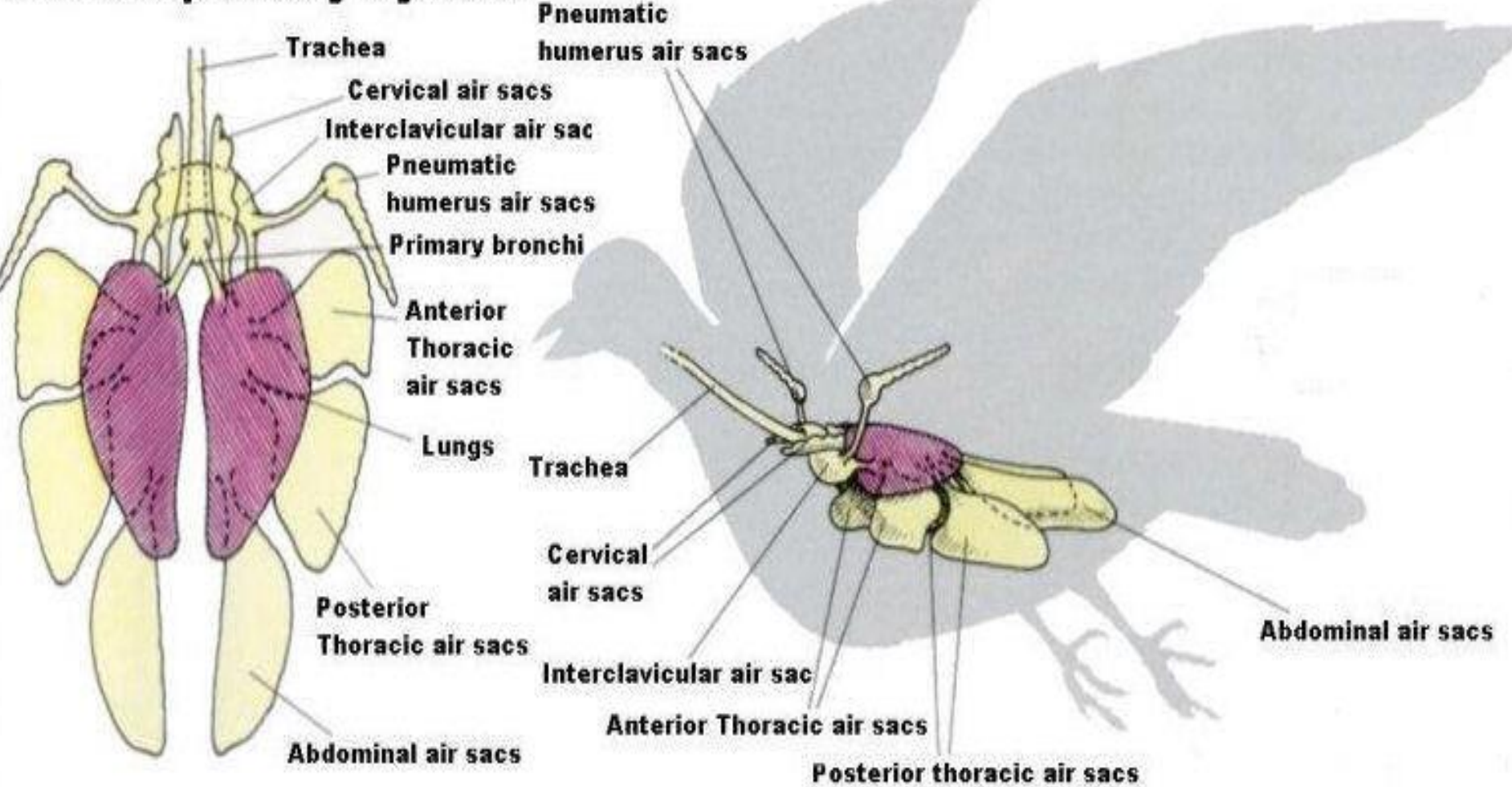
- ١- الكيس بين الترقوات
- ٢- الأرداب تحت العضلية
- ٣- ممر إلى عظم العضد
- ٤- الأكياس العنقية
- ٥- الأكياس الصدرية الأمامية
- ٦- الأكياس الصدرية الخلفية
- ٧- الأكياس البطنية
- ٨- الرنتين
- ٩- أذينة القصبة الرئيسة مع الفتحة في القصبات الثانوية
- ١٠- الحواف الأنسية للرنتين
- ١١- قصبة خارجية في الأكياس البطنية
- ١٢- قصبة كيسية للأكياس الصدرية الخلفية
- ١٣- قصبة كيسية للأكياس البطنية

- أثناء الشهيق يتحرك الجدار الضلعي إلى الأسفل والخلف ويتسع الجزء الأمامي للتجويف الصدري البطني، يصل الهواء المستنشق للرئتين ومن ثم يصل للأكياس الهوائية عن طريق القصيبات الصغيرة.
- أثناء الزفير ينخمس القفص الصدري فيتجه هواء الأكياس الهوائية إلى الرئتين ويمر من خلالهما في الاتجاه المعاكس.
- وهكذا يمر الهواء من خلال الحويصلات الرئوية في وقت الشهيق وفي وقت الزفير مرتين معطياً الأكسجين للدم.

- تؤدي الأكياس الهوائية دوراً مهماً في تهوية الرئتين التي تتوسع مع حركة الأجنحة لتمتص الهواء الجوي ومن ثم تنقلص طاردة الهواء إلى الرئتين والרגامى.
- تختلف سرعة التنفس باختلاف الطيور فمثلاً: عند الدجاج 20 - 40 مرة / د, البط 50 - 70 , الإوز 15 - 25, الحبش 12 - 14, الحمام 40 - 60, الكنار 100.
- الطيور حساسة لنقص الأكسجين حيث يظهر اللهث الشديد عند البط عند انخفاض محتواه في الهواء بـ 1 - 2%.
- تنظيم التنفس عند الطيور مشابه لما هو عليه عند الثدييات ولكنه غير مدروس بشكل جيد. فإذا قطع العصب المبهم عند الطيور يبطئ التنفس بشدة, وعند تنبيه طرفه المركزي يمكن أن يتوقف التنفس.



The Respiratory System



انتهت المحاضرة