محاضرة 04:

الجهاز التنفسي و عملية التنفس

يتأثر جسم الإنسان بالبيئة و المحيط، حيث يأخذ منها المواد الأساسية لحياته ويطرح الفضلات الناتجة عن تمثيلها.
فملايين المليارات من خلايا الجسم تحتاج إلى الأكسجين باستمرار(39 كغ في اليوم) لضمان مختلف وظائفه الحيوية، فالإنسان يستطيع أن يعيش لفترة دون طعام ولا ماء، ولكن لا يستطيع أبدا أن يستغني عن الأكسجين الذي تبلغ نسبته في الهواء الجوي 21% ، وكنتيجة لاستهلاك الأكسجين يطرح ثاني أكسيد الكربون (نسبته في الجو0.03%)، وتتم هذه العملية وفق آلية تسمى **التنفس**.

* غاز النيتروجين في الجو (78.8%)
* غازات أخرى (0.23%).

1.التنفس:

عبارة عن عملية فسيولوجية مهمة للكائنات الحية بواسطتها يتم نقل الغازات فتأخذ الخلايا الأكسجين وتطرد ثاني أكسيد الكربون الزائد.
يستعمل الأكسجين في أكسدة (حرق أو أيض)المواد داخل الخلايا وتتحرر الطاقة، وثاني أكسيد الكربون الناتج من أكسدة المواد يتم التخلص منه عن طريق التنفس.
عملية التنفس تتضمن المراحل التالية :

أ- تهوية الرئتين: دوران الهواء في الرئتين بهدف تجديد الغازات الموجودة فيها بدون انقطاع وهو ما يسمى التنفس.
ب- التنفس الخارجي :إيصال أوكسجين الرئتين إلى الدم وإيصال غاز ثاني أكسيد الكربون من الدم إلى الرئتين .
ج- نقل الغازات التنفسية: نقل O_2 من الرئتين إلى الخلايا و CO_2من الخلايا إلى الرئتين و هو ما يضمنه الجهاز القلبي الوعائي والدم.
د- التنفس الداخلي : إيصال أو توزيع O_2 من الدم إلى الخلايا وإيصال CO_2 من الخلايا إلى الشعيرات الدموية.
زيادة على وظيفته في نقل الهواء يلعب أيضا الجهاز التنفسي دورا هاما في الشم والكلام، إضافة إلى كون الرئتين خزان للدم (حوالي 500مل) وكمصفاة (للجلطات الدموية وفقاعات الهواء).

** يتم أكسدة المواد داخل الخلايا من خلال التنفس الخلوي في الميتاكوندري، حيث يدخل الأكسجين إليها ليستهلك أثناء أيض المواد الغذائية داخلها وهي مكان إنتاج الطاقة في الخلايا والتي تخزن على شكل مركب (ATP)، وينتج عن أكسدة المواد ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الذي يطرح في الدم.
وحيث أن الكمية الزائدة من (CO_2) في الدم تؤدي إلى الحموضة وهي سامة بالنسبة للخلايا فلابد من التخلص من الكميات الزائدة بسرعة وبكفاءة عالية.
ويوجد جهازان بالجسم مسئولان عن إمداده بالأكسجين والتخلص من ثاني أكسيد الكربون ، حيث يقوم الجهاز الدوري بنقل الغازات بين الخلايا والرئتين والجهاز التنفسي يقوم بتبادل الغازات .

2.الجهاز التنفسي:

يشمل الأعضاء التالية :

1- الأنف
2- البلعوم
3- الحنجرة
4- القصبة الهوائية
5- الشعب الهوائية
6 - الرئتين والحويصلات الهوائية
7- أغشية البلورا أو الجنبة

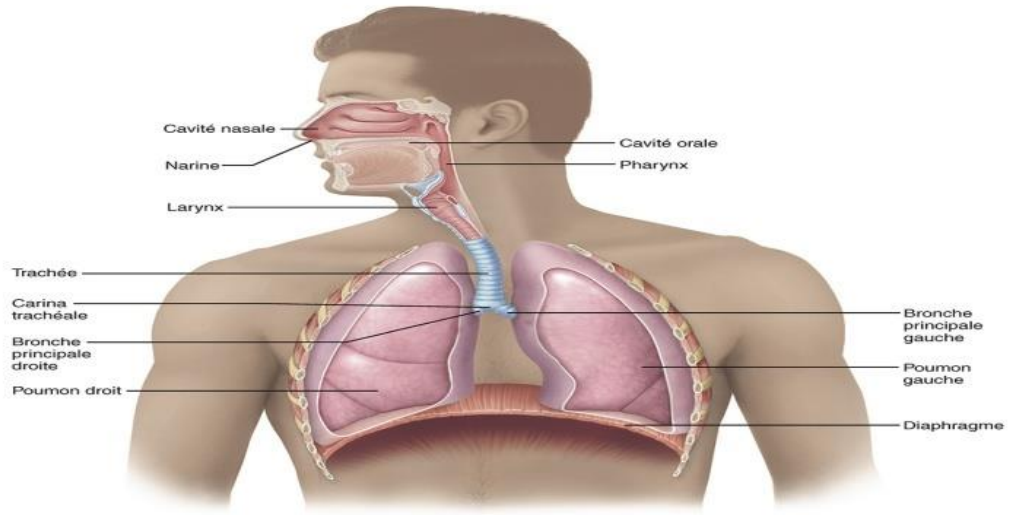


Figure 22.1 Les principaux organes du système respiratoire par rapport aux structures environnantes.

© ERPI, tous droits réservés.

1.2.الأنف :

وهو الجزء الأول من الجهاز التنفسي ويتميز تركيبه الداخلي بغشاء مبطن مخاطي غني بالأوعية الدموية

وظائفه :

1- إدخال هواء الشهيق وتسخينه وترطيبه وتنقيته من الشوائب والجراثيم العالقة به وذلك بمساعدة المخاط الأنفي.

2- يقوم الأنف بحاسة الشم حيث يستطيع إدراك الغازات الضارة وتتركز الحاسة في مستقبلات الشم في الغشاء المبطن للجزء العلوي للتجويف الأنفي.

3- طرح وإخراج إفراز الغشاء المخاطي والجيوب الأنفية والقناة الدمعية خارج الجسم بواسطة الأهداب .

* وفي حالة انسداد أو إعاقة مجري الأنف فإن الشخص بتنفس عن طريق الفم .

توجد جيوب أنفية ملحقة جيبان جبهيان وجيبان وتديان وهي مليئة بالهواء لتخفيف وزن الجمجمة.

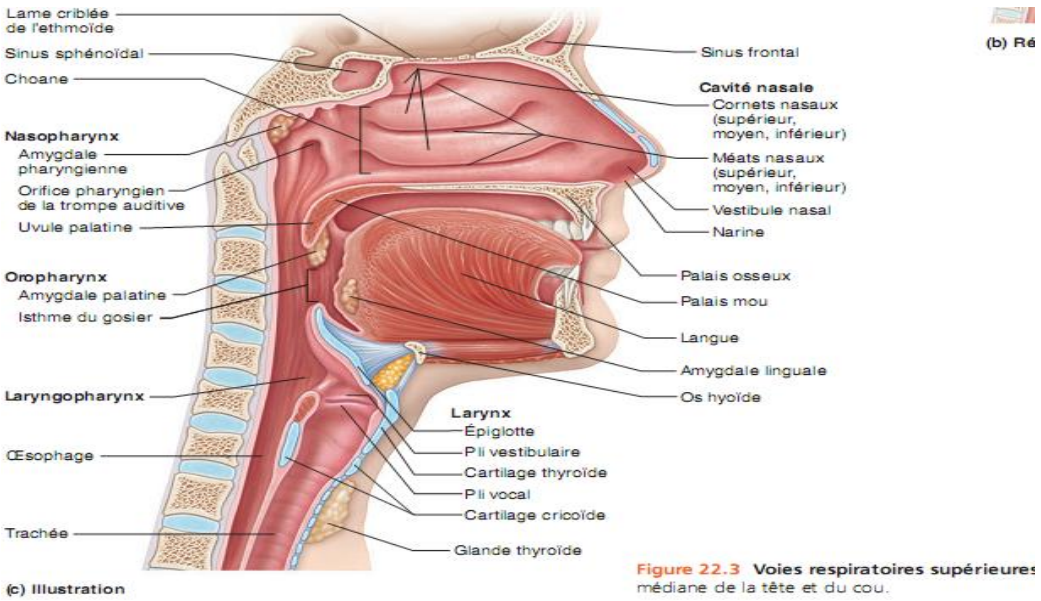


Figure 22.3 Voies respiratoires supérieures
médiane de la tête et du cou.

2.2. البلعوم : Pharynx

يسمى أحيانا بالحلق وهو أنبوب عضلي طوله 13سم، تتصل به سبع فتحات فتحة الفم الداخلية وفتحتا الأنف الخلفيتان وفتحتا قناتي استاكيوس وفتحة الحنجرة .

يتكون البلعوم من ثلاث أجزاء :

أ- الجزء العلوي - الجزء البلعومي الأنفي (Nasopharynx): يبطن بطلائية مهدبه كاذبة تساعد الأهداب في تحريك المخاط لأسفل الفم.

تفتح فيه قناتا استاكيوس على الجدار الجانبي حيث تتبادل القناتان كمية قليلة من الهواء مع هذا الجزء من البلعوم للمحافظة على توازن ضغط الهواء على جانبي الأذن الوسطى وطبلة الأذن.

ب- الجزء البلعومي الفمي (Oropharynix): ممر للهواء والطعام، يوجد به زوجان من اللوز لوزتا الفك ولوزتا اللسان عند قاعدة اللسان .

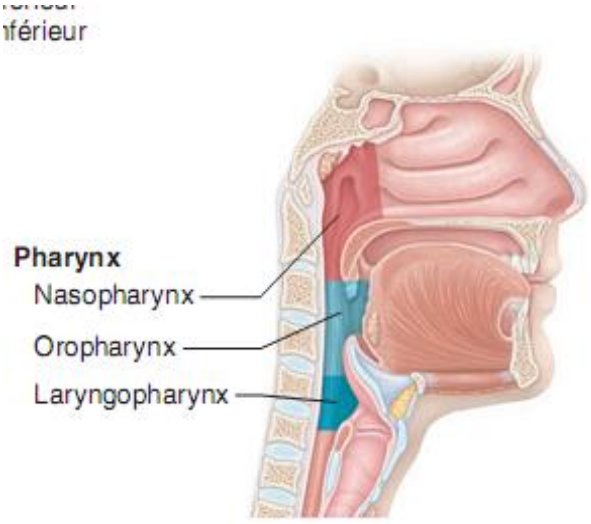
ج- الجزء السفلي - الجزء البلعومي الحنجري (Laryngopharynix): يتفرع إلى جزئين في الأسفل إلى المرئ والحنجرة (Larynx) ، وتبقى فتحة الحنجرة في البلعوم وتسمى المزمار (Glotte) مفتوحة دائما للهواء إلا عند بلع الطعام فإنها تسد بواسطة لسان المزمار أو اللهاة (Epiglotte).

وظائف البلعوم :

-ممر للهواء من الأنف إلى القصبة الهوائية .

-ممرا للغذاء من الفم الى المرئ.

-يعمل كغرفة لنغمة الصوت ونوعيته



(b) Régions du pharynx

3.2. الحنجرة : Larynx

تسمى الحنجرة بصندوق الصوت (boite de voix) وهي ممر قصير يصل بين البلعوم والقصبة الهوائية، وهي ذات تركيب عضلي غضروفي دعم جداره بأربعة غضاريف هي :

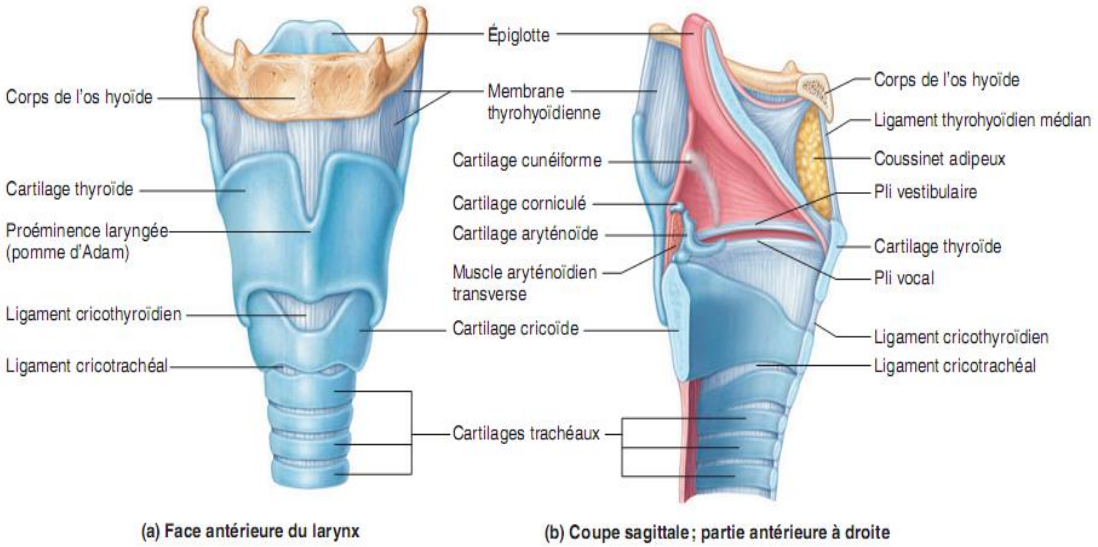
1- غضروف درقي امامي (cartilage Thyroide) 2- وغضروف حلقي سفلي (cartilage Corniculé)

3 -غضروفان خلفيان (cartilage Arytenoide) .

تبطن الحنجرة بغشاء مخاطي مهدب للتخلص من عوالق الهواء، والغشاء المخاطي مرتب في زوجين من الثنيات، الجزء العلوي يعرف بالثنيات البطنية أو الحبال الصوتية الكاذبة لا دخل له في حدوث الصوت، والزوج السفلي يعرف بالثنيات الصوتية أو الحبال الصوتية الحقيقية .

يحدث الصوت نتيجة اهتزاز الحبلين الحقيقيين عند اندفاع الهواء بينهما.

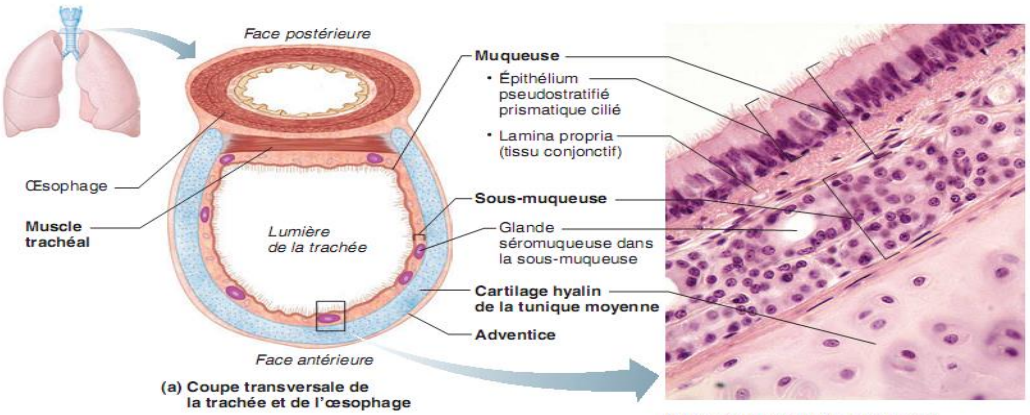
والحنجرة في الرجل أكثر وضوحا وتبرز قليلا إلى الأمام ويطلق عليها تفاحة أدم (pomme d'Adam) ومن الحنجرة يندفع الهواء إلى القصبة الهوائية .



(a) Face antérieure du larynx (b) Coupe sagittale ; partie antérieure à droite

4.2. القصبة الهوائية : Trachée

تنتهي القصبة الهوائية بتفرعها إلى فرعين من الشعب الهوائية الأولية اليمنى واليسرى اللتين تدخلان إلى الرئتين.
كل شعبة تتفرع داخل الرئة إلى شعب ثانوية، حيث تركيب الشعب الهوائية يشبه تركيب القصبة الهوائية إلا أن غضاريفها كاملة الاستدارة.
وداخل كل فص من فصوص الرئة تتفرع الشعب الثانوية إلى فروع صغيرة متفرعة تعرف بالشعب الشجيرية وتستبدل الغضاريف بصفيحة غضروفية ، وفي الفروع الأصغر تختفي هذه الصفائح وتعرف تلك بالشعيبات، ويوجد بجدران هذه الشعيبات ألياف عضلية ملساء وتختفي الغضاريف.



(a) Coupe transversale de la trachée et de l'œsophage

(b) Photomicrographie de la paroi de la trachée (320×)

5.2. الرئتان :poumons

يوجد في الإنسان زوج من الرئة مخروطية الشكل تقع في التجويف الصدري، يفصل بينهما القلب وتفرعات الشعبتين الهوائية .
تنقسم كل رئة إلى فصوص بواسطة أخاديد، وكل فص يصله فرع من فروع الشعب الهوائية الثانوية .
فالرئة اليمنى تنقسم إلى ثلاث فصوص (Lobes) أما الرئة اليسرى فالى فصين .
كل جزء من الفصوص يتجزأ إلى حجر صغيرة تعرف بالفصيصات (Lobules) ويغلف كل فصيص بنسيج ضام مطاطي يحتوى على الأوعية الليمفاوية والأوردة والشرايين.
وتتفرع داخل الفصوص الشعب الشجيرية وتعرف بالشعيبات الهوائية تتكون جدرانها من خلايا حرشوفية متباعدة بدلا من الخلايا المكعبة .

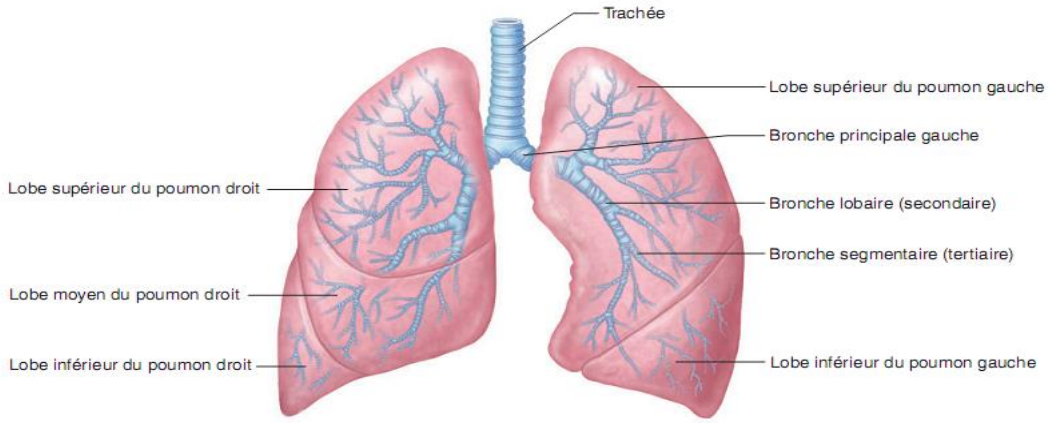


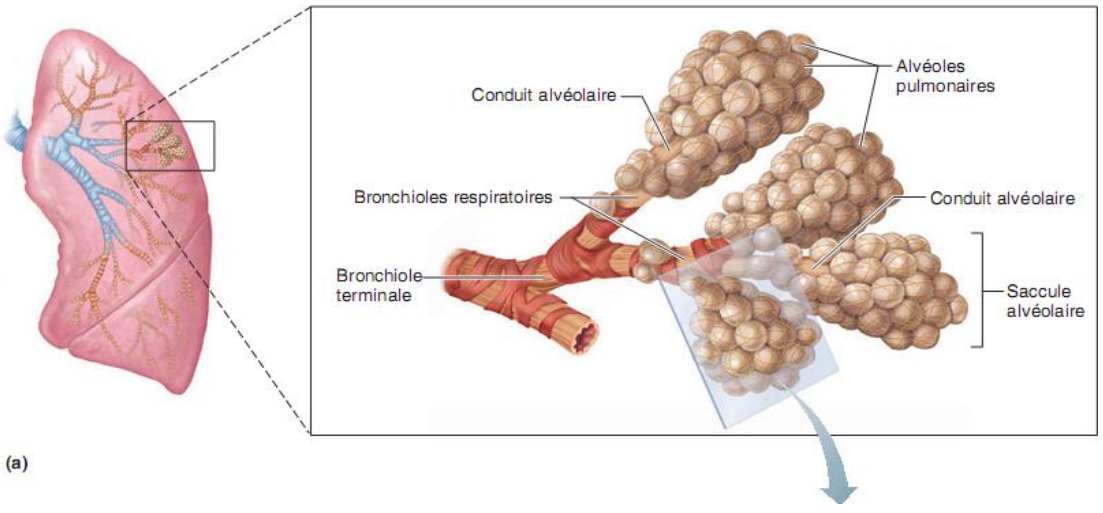
Figure 22.7 Structures de la zone de conduction. Sous le larynx, les voies respiratoires sont composées de la trachée ainsi que des bronches principales, lobaires et segmentaires, qui se ramifient en bronches de plus en plus fines, puis en bronchioles et en bronchioles terminales.

©ERPI, tous droits réservés.

تبرز من جدر هذه الشعيبات تجاويف صغيرة تشبه الكأس في شكلها ويبطنها خلايا حرشوفية، ويدعمها أغشية مطاطية رقيقة تعرف بالأسناخ الرئوية أو الحويصلات الهوائية (Alveoles).

تشترك الحويصلات الهوائية في شعبة هوائية أو قناة حويصلية تعرف بالكيس الحويصلي أو السنخي (sacule alveolaire)، ويبلغ عدد هذه الأسناخ أو الحويصلات الهوائية في الرئة عدة ملايين .

وحول كل سنخ أو حويصلة هوائية تتفرع شبكة الشعيرات الدموية من الشريان والوريد، حيث تتم عمليات التبادل الغازي بواسطة الانتشار البسيط بين الدم والحويصلات الهوائية عبر جدرها والشعيرات الدموية



7.2. أغشية البلورا أو الجنبة : membranes pleurale

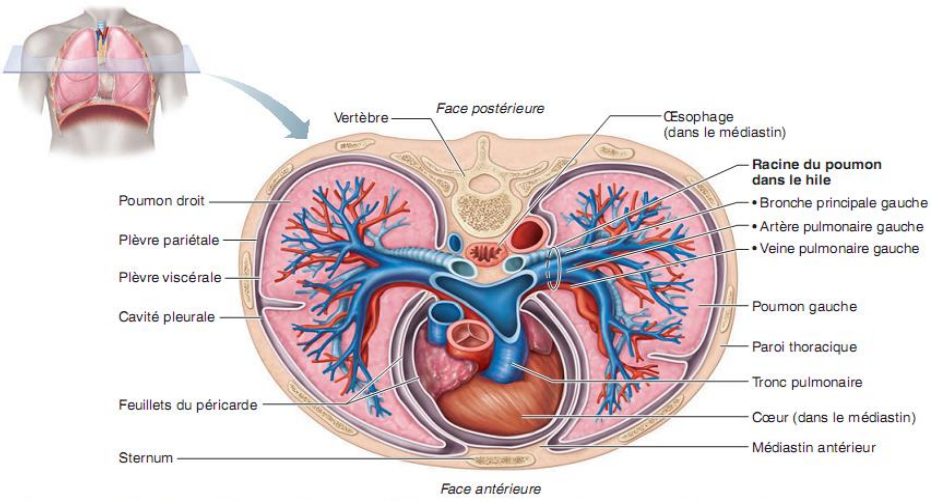
تحاط كل رئة بغشاء البلورا وهو غشاء ليفي مصلي ثنائي الطبقة، تتألف كل طبقة من صف واحد من الخلايا الطلائية الداخلية ملتصقة بالرئة والخارجية تواجه القفص الصدري، وتحصران بينهما التجويف البلوري أو الجنبي (cavitie pleurale) يحتوى على سائل مصلي يساعد في عمل سطح انزلاقي للرئتين داخل القفص الصدري.

3. تهوية الرئة:

وهي كمية الهواء التي تدخل الرئتين في الدقيقة وتتوقف على عاملين

1- حجم الهواء الشهيق (عمق التنفس)

2- عدد مرات التنفس في الدقيقة او معدل التنفس.



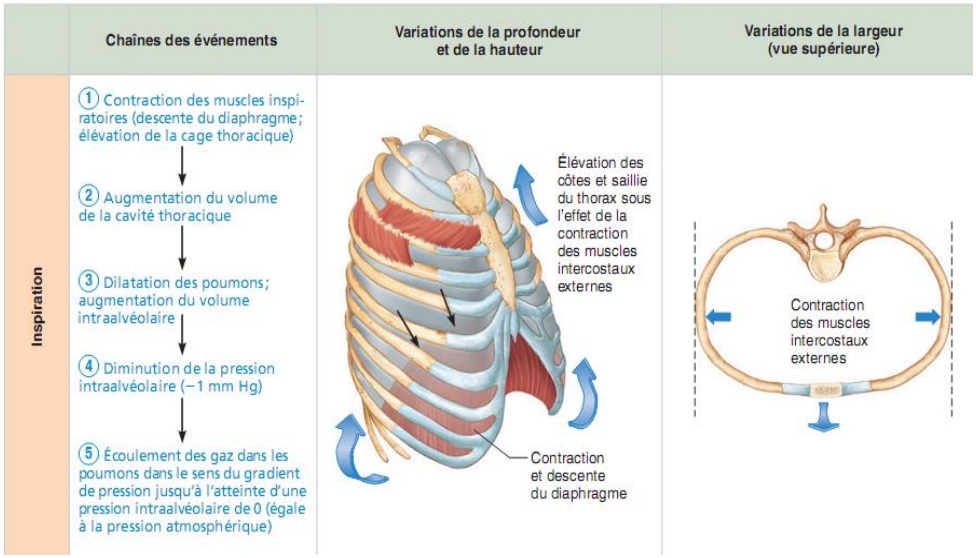
(c) Coupe transversale du thorax montrant les poumons, les feuillets de la plèvre et les principaux organes du médiastin

4. آلية التنفس :

تحاط الرئتان بالقفص الصدري الذي يتكون من (12زوج) من عظام الاضلاع تربطها عضلات، وهو مخروطي الشكل له فتحتان العلوية تمر منها القصبة الهوائية والمرئ والأوعية الدموية والأعصاب والفتحة السفلية مغلقة بعضلات الحجاب الحاجز (Diaphragme) الذي يفصل التجويف الصدري عن التجويف البطني.

آلية التنفس تتم خلال عمليتين متعاقبتين :

1- عملية الشهيق (Inspiration) : وفيها ينقبض الحجاب الحاجز فترتفع الاضلاع إلى الأعلى، فيتسع تجويف القفص الصدري مما يجل الهواء يدخل الرئتين نتيجة انخفاض ضغط الهواء داخلهما، وهي عملية ايجابية تحتاج للطاقة .



2- **عملية الزفير (Expiration) :** حيث تنبسط عضلات الاضلاع وتعود هي و الحجاب الحاجز لوضعهما ، فيقل حجم التجويف الصدري مما يجعل الرئتين تطرد الهواء للخارج ، وهي عملية سلبية تتم بدون أي جهد عضلي ولا تحتاج للطاقة.

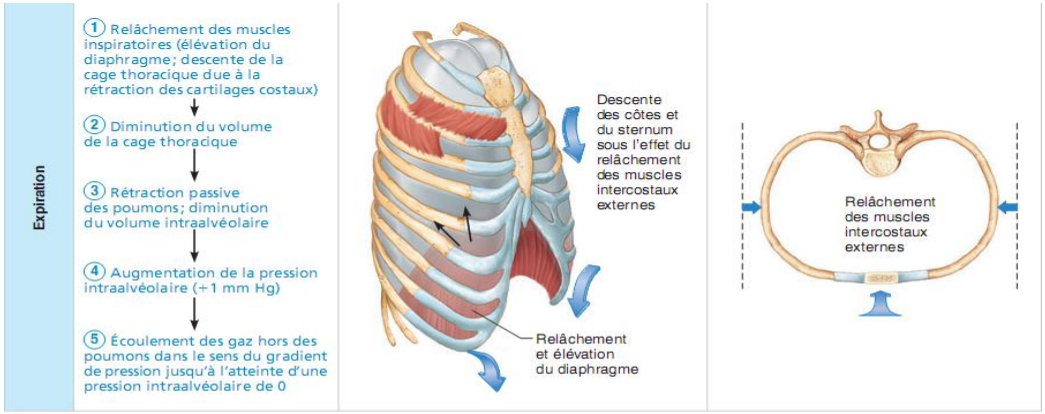


Figure 22.13 Variations du volume thoracique et déroulement des événements pendant l'inspiration et l'expiration. La colonne de gauche présente les variations de volume durant l'inspiration (haut) et l'expiration (bas). Au centre, les profils du thorax montrent les variations de la hauteur (dues à la contraction et au relâchement du diaphragme) et de la profondeur (dues à la contraction et au relâchement des muscles intercostaux externes). À droite, vues supérieures de coupes transversales du thorax montrant les variations de la largeur dues à la contraction et au relâchement des muscles intercostaux externes pendant l'inspiration et l'expiration.

5. الضغط في التجويف الصدري:

الضغط التنفسي يفسر دائما نسبة إلى الضغط الجوي (الضغط المطبق من الهواء – خليط من غاز – المحيط بالجسم على مستوى سطح البحر)،الضغط الجوي في حدود760 مم زئبقي.

حيث الضغط التنفسي منخفض ب 4 مم زئبقي من الضغط الجوي (4-760=756)

الضغط التنفسي داخل الاسناخ يرتفع وينخفض حسب الزفير والشهيق ويصبح دائما مساويا ل ض.ج.

الضغط داخل التجويف الجنبي دائما منخفضة ب 4 مم زئبقي.

Pression intraalvéolaire
La pression à l'intérieur des poumons diminue quand le volume des poumons augmente pendant l'inspiration; la pression augmente pendant l'expiration.

Pression intrapleurale
La pression devient plus négative dans la cavité pleurale lorsque la paroi thoracique s'étend pendant l'inspiration. La pression revient à sa valeur de départ lorsque la paroi thoracique se rétracte.

Volume respiratoire
Pendant chaque respiration, les gradients de pression forcent le déplacement de 0,5 L d'air vers l'intérieur et l'extérieur des poumons.

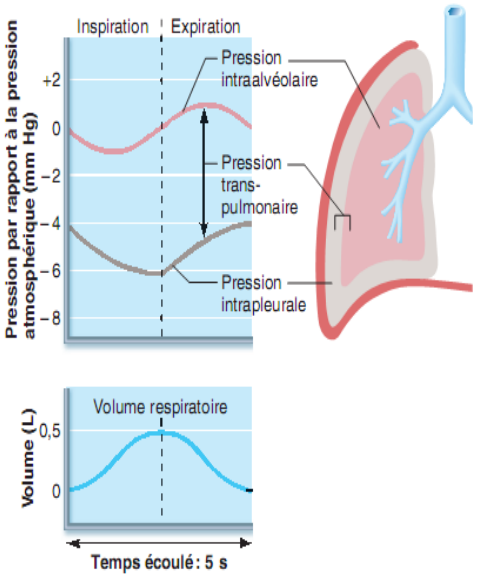


Figure 22.14 Modifications de la pression intraalvéolaire et de la pression intrapleurale durant l'inspiration et l'expiration. Notez que la pression atmosphérique normale (760 mm Hg) a une valeur de 0 sur l'échelle.

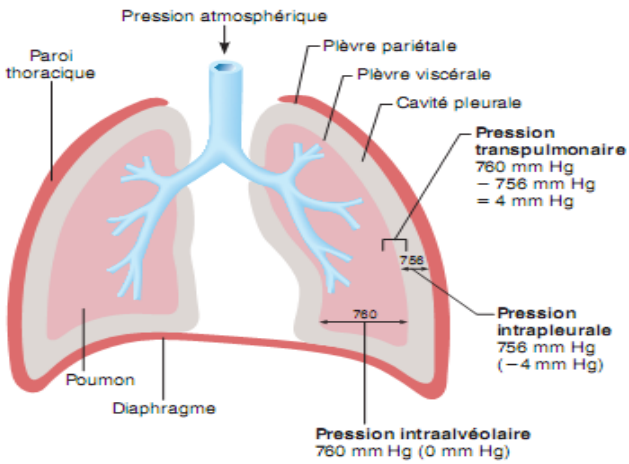


Figure 22.12 Relations entre la pression intraalvéolaire et la pression intrapleurale. Pression intraalvéolaire et pression intrapleurale en position de repos. Les différences par rapport à la pression atmosphérique sont indiquées entre parenthèses. Les valeurs indiquées sont celles à la fin d'une expiration normale. Aux fins de l'illustration, la dimension de la cavité pleurale a été considérablement augmentée.

© ERPI, tous droits réservés.

6. الحجم التنفسي:

يبلغ حجم الهواء الذي يدخل الرئتين ويخرج منها في الإنسان في وضع الراحة 500 مل ويدعى بالحجم الموجي (volume courant) وقد يصل الى 2500 مل عند اخذ شهيق عميق بعد شهيق اعتيادي ويدعى بالحجم الشهيقي الاحتياطي (v.Inspiration reservé **VRI**) ويمكن طرد كمية من الهواء بعملية زفيرية قوية بعد عملية زفيرية اعتيادية فيخرج 1500مل هواء ،يعرف بالحجم الزفيري الاحتياطي(**VRE**) .

وعند الرياضي أو عند بذل الجهد الشاق فيدعى بالسعة الحيوية (capacité vitale **CV**) .

وتبقى بعد أعمق زفير كمية من الهواء في الحويصلات الهوائية أو السنخ تقدر بـ 1500 مل ويدعى هذا بالحجم المتبقي الوظيفي (capacité residuelle fonctionnelle **CRF**) .

ونظرا لان الهواء الداخل لا يصل كله الى الحويصلات الهوائية ويبقى في المجاري التنفسية، مما يجعله لا يشترك في تزويد الدم بالأكسجين لذا يدعى هذا بالحيز الميت (zone morte) وتقدر قيمته بـ 150 مل.

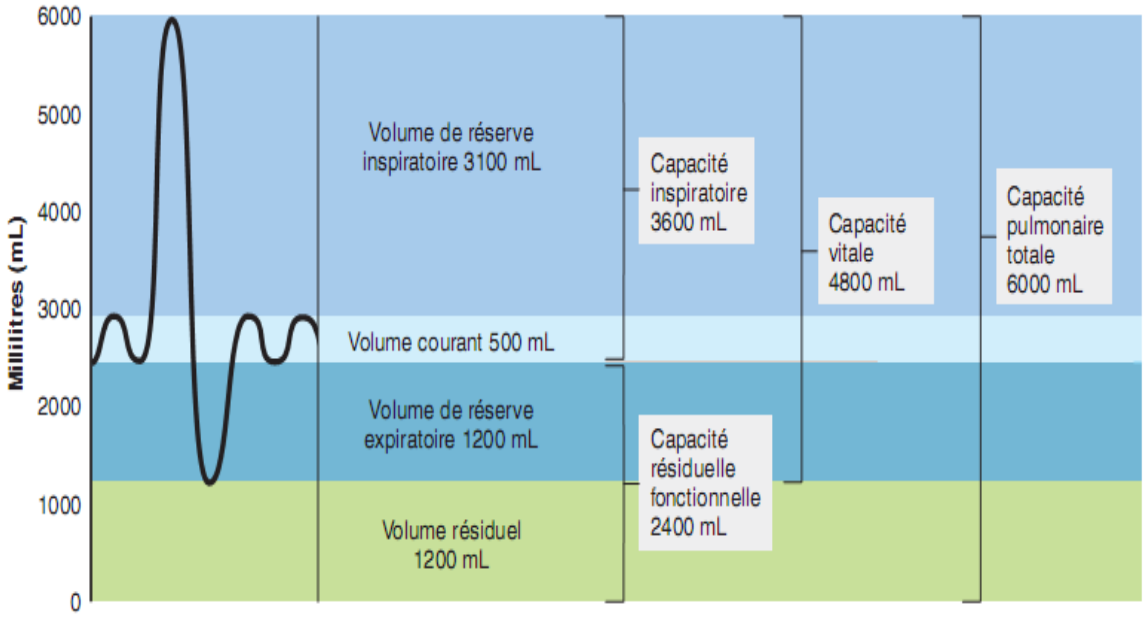
لذا فإنه أثناء التنفس العادي يتجدد 350 مل من هواء الحويصلات الهوائية الرئوية والبالغ 3500 مل .

أما أثناء الرياضة يتجدد أكثر من 4 لترات من هواء الحويصلات البالغ 6 لترات.

إن الضغط الجزيئي للأكسجين (PO2) وثاني أكسيد الكربون (PCO2) أثناء التنفس العادي يبقى ثابتا وبمقدار يسمح بالتبادل الغازي بين جدار الحويصلات الهوائية والدم، والذي يقدر الضغط الجزئيى الأكسجيني في الحويصلات الهوائية ب 100مم زئبقي، والضغط الجزيئي لثاني أكسيد الكربون ب 40مم زئبقي

مقابل 195 مم زئبقي للاكسجين، و30 لثاني أكسيد الكربون في هواء الشهيق.

ويصل مقدار الهواء المتجدد في الرئتين خلال دقيقة واحدة أثناء الراحة من 6-7 لترات ويدعى هذا **بالحجم الدقيقي** وهو حجم الهواء الداخل عن طريق فتحتي الأنف إلى الرئتين، كما يبلغ عدد الحركات التنفسية في الدقيقة **12-14 مرة** .



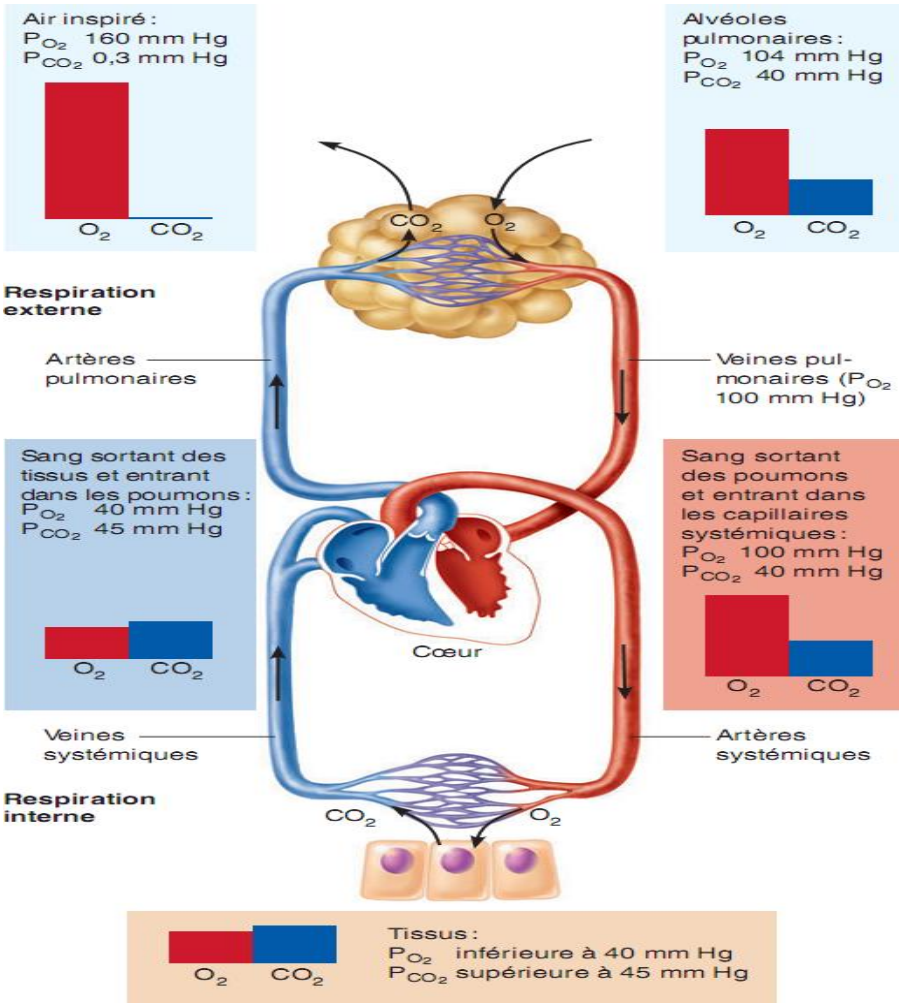
(a) Spirogramme d'un homme adulte

7. تبادل غازات التنفس: Exchange des gazes resperatore

عند امتلاء الرئتين ينتقل الأكسجين من الحويصلات الهوائية عبر سوائل الأنسجة البينية ثم إلى الدم ومنه إلى خلايا الأنسجة

أما ثاني أكسيد الكربون فهو يسلك عكس الاتجاه من الخلايا إلى السوائل البينية ثم للدم فالحويصلات الهوائية بالرئتين.

في الدم الوارد إلى الرئتين يبلغ ضغط الأكسجين (PO2) حوالي 40 مم زئبقي و ضغط ثاني أكسيد الكربون (PCO2) 54مم زئبقي، وبما أن ضغط الأكسجين (PO2) في الحويصلات الهوائية (الأسناخ) يبلغ 100 مم زئبقي وثاني أكسيد الكربون (PCO2) 40 مم زئبقي فإن هناك زيادة في ضغط الأكسجين من الهواء إلى الدم، وزيادة في ضغط ثاني أكسيد الكربون في الحويصلات الهوائية عنها في الهواء فينتقل ثاني أكسيد الكربون من الدم إلى الحويصلات الهوائية عن طريق خاصية الانتشار البسيط .



عملية تبادل الغازات سريعة نظرا لكبر مساحة سطح التبادل ورقة الجدار الخلوي الفاصل للحويصلات الهوائية الأسناخ و الدم حيث لا يتجاوز خليتين و تستغرق العملية الواحدة اقل من ثانية.

وعلى هذا فإن الدم الشرياني الذي يترك الرئتين يكون الضغط الأكسجيني وثاني أكسيد الكربون فيه 100 ، 40 مم زئبقي على التوالي .

أما في الأنسجة فيحدث العكس أي أن الأكسجين ينتقل من الدم إلى الخلايا لان الضغط الأكسجيني في الدم أعلى منه في الأنسجة ، بينما ثاني أكسيد الكربون ينتقل من الخلايا إلى الدم لان ضغط ثاني أكسيد الكربون اكبر في الخلايا عنه في الدم.

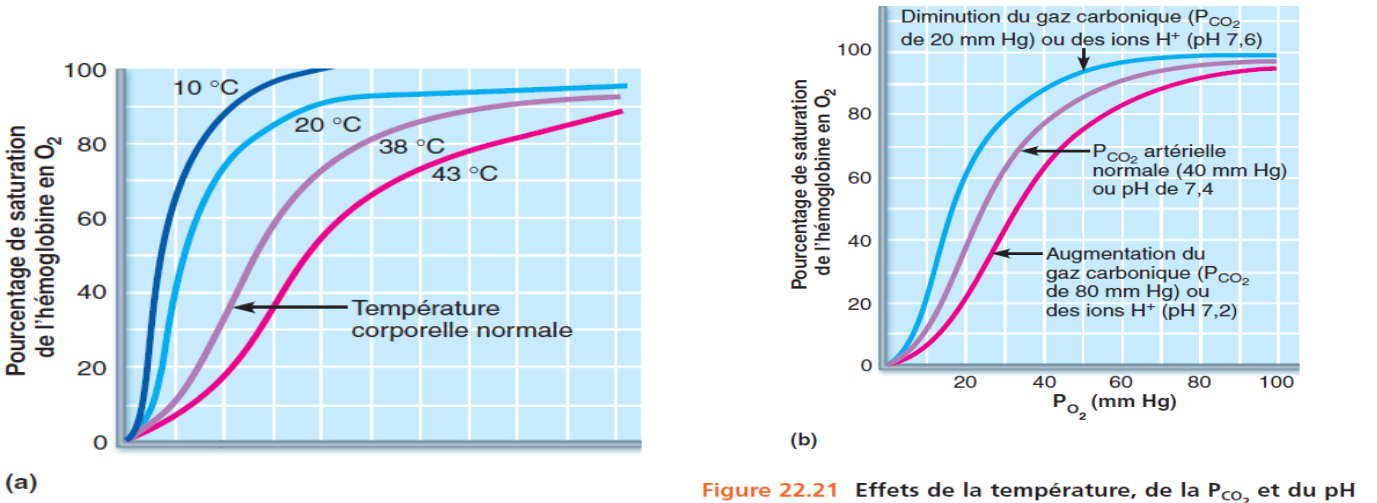


Figure 22.21 **Effets de la température, de la P_{CO_2} et du pH sanguin sur la courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine.**

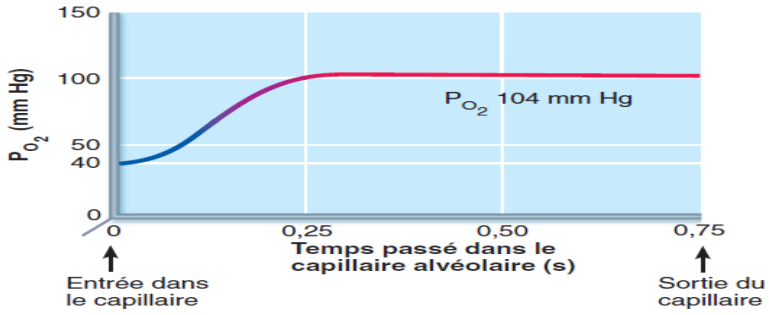


Figure 22.18 **Oxygénation du sang dans les capillaires alvéolaires.** Notez que le temps écoulé entre le moment où le sang entre dans les capillaires alvéolaires (indiqué par 0) et celui où la P_{O_2} atteint 104 mm Hg est d'environ 0,25 s.

© ERPI, tous droits réservés.

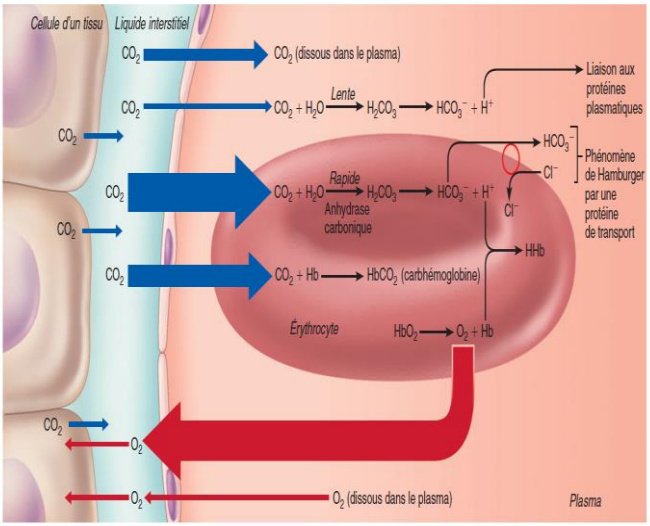
8. انتقال الغازات في الدم : Transport des gazes dans le sang

أ- نقل الأكسجين في الدم :

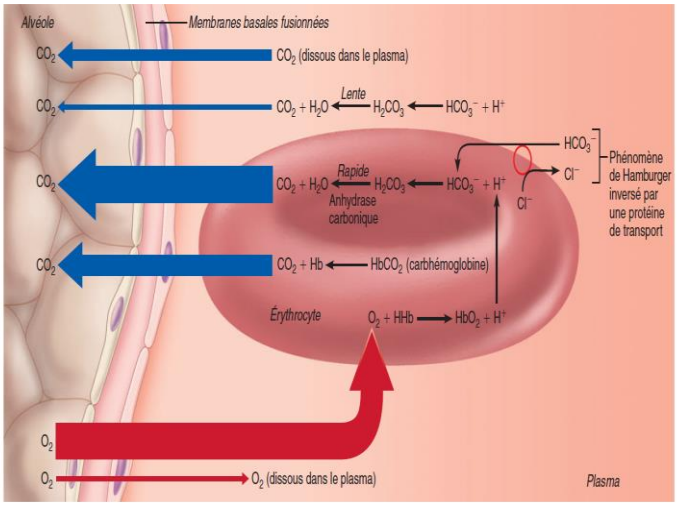
ينقل الاكسجين في الدم عن طريق إتحاده مع بروتين الهيموغلوبين (اليحمور Hb) لكريات الدم الحمراء 97% بينما كمية الأكسجين الحرة في بلازما الدم (3%) وتساوى ضغط الأكسجين في حويصلات الهواء مما يجعله قليل الذوبان في البلازما.

وفي وجود الضغط الجزيئي للأكسجين في الحويصلات الهوائية عالي يرتبط الأكسجين مع الهيموغلوبين في كريات الدم الحمراء ليكون مركب الأكسيهيموغلوبين (Oxyhaemoglobine) :

$$4HbO_2 \xrightarrow[\text{Low PO2 /high } H^+]{\text{High PO2}} 4Hb + 4O_2$$



(a) Libération d'oxygène et absorption de gaz carbonique au niveau tissulaire



(b) Absorption d'oxygène et libération de gaz carbonique au niveau des poumons

ب- نقل ثاني أكسيد الكربون في الدم :

يتم نقل ثاني أكسيد الكربون بثلاث طرق :

في الأولى 8% عن طريق الذوبان في بلازما الدم .

الثانية و الثالثة : يتم نقل 92%من ثاني اكسيد الكربون عن طريق كريات الدم الحمراء (27% يتحد مع الهميوغلوبين مكونا مركب الكربينوهيموغلوبين (HbCO2) والجزء الأكبر(65%) يتحد مع الماء ويكون حمض الكربونيك (H2CO3) في كريات الدم الحمراء والذي يتأين الى أيون هيدروجين وأيونات البيكربونات ليعمل كمحلول منظم للدم.

انزيم الكربونيك هيدروجنيز يتأين

$$CO2 + H2O \longrightarrow H2CO \longrightarrow H^+ + HCO3$$

يعمل ايون الهيدروجين (H^+) كمحفز لتحرر الأكسجين من الهميوغلوبين إلى الخلايا، بينما ايونات البيكربونات تتحد مع البوتاسيوم مكونة بيكربونات البوتاسيوم التي تنتشر من كريات الدم الحمراء الى البلازما .

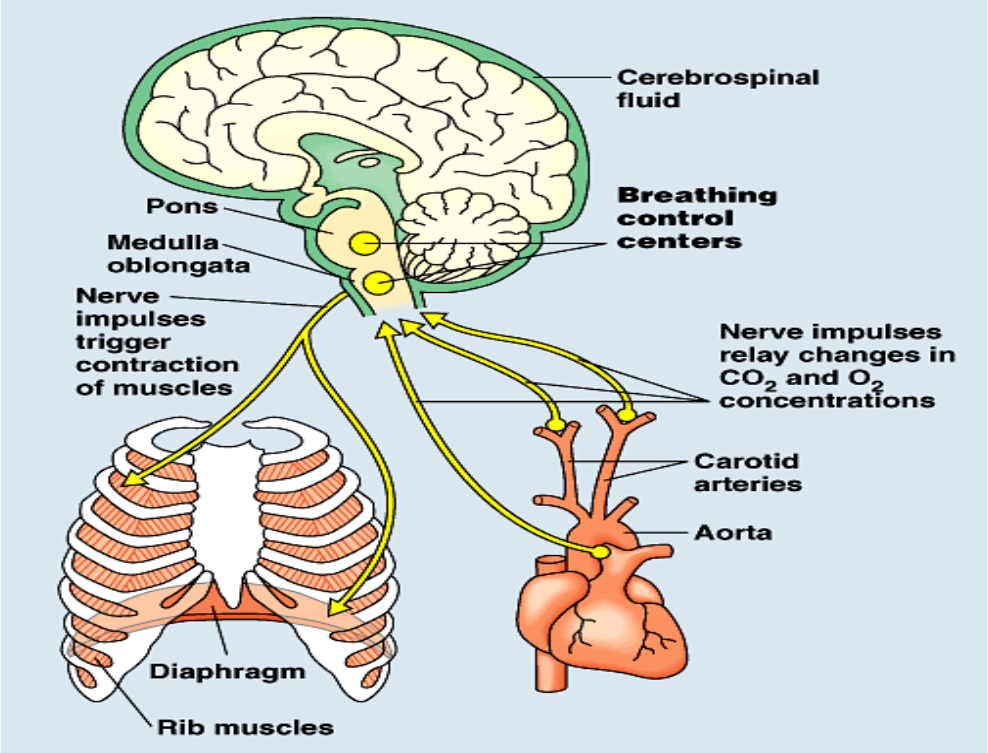
كما أن (CO2) في البلازما يتحد مع الصوديوم مكونا بيكربونات الصوديوم

وعند وصول الدم الى الرئتين يحدث العكس حيث يزيد الضغط الجزيئي للأكسجين مما يتسبب في إحلال ثاني أكسيد الكربون المتحد مع الهيموغلوبين بالأكسجين أما جزيئات البيكربونات فتتحلل وتطلق ثاني أكسيد الكربون الذي يذوب في البلازما ومن ثم ينتشر في اتجاه الحويصلات الهوائية حسب الفارق في الضغط الجزيئي لهذه الغازات داخل الحويصلات الهوائية .

9. آلية التحكم في عملية التنفس:Controle de respiration

التحكم في عملية التنفس يحصل لا إراديا كالتي :

يوجد في النخاع المستطيل (la moelle alongée) للمخ مركز للتحكم في عملية التنفس (centre de controle respiratoire) والذي يتلقى إشارات من أعصاب حسية حول الشريان التاجي (أو السباتي) و الأبهر والتي تنبئ عن تركيز الأكسجين وثاني أكسيد الكربون الخارج من القلب وتركيز حمض الكربونيك في الدم ، وبناء على هذه الإشارات العصبية فإن مركز التحكم في التنفس في المخ يرسل إشارات إلى عضلات الضلوع لكي تنقبض أو تنبسط بواسطة خلايا عصبية حركية ذاتية .



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

10. عوامل التحكم في معدل التنفس:

هناك عدة عوامل تتحكم في سرعة معدل التنفس في الكائنات الحية :

1- كثافة عمليات الأيض أو التمثيل الغذائي (Metabolisme) داخل الخلايا كلما زادت زاد نسبة ثاني أكسيد الكربون في الدم مما يزيد من معدل التنفس للتخلص من ثاني أكسيد الكربون بالدم .

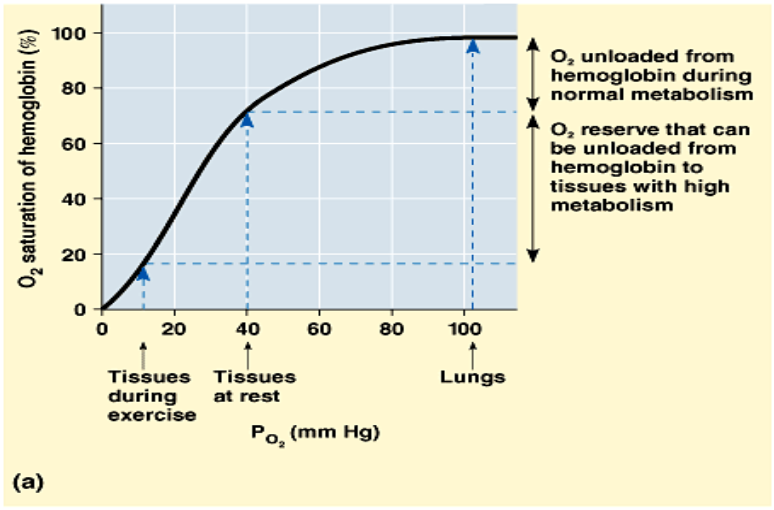
2- المجهود العضلي أو الحركي كلما زاد ازداد معدل التنفس .

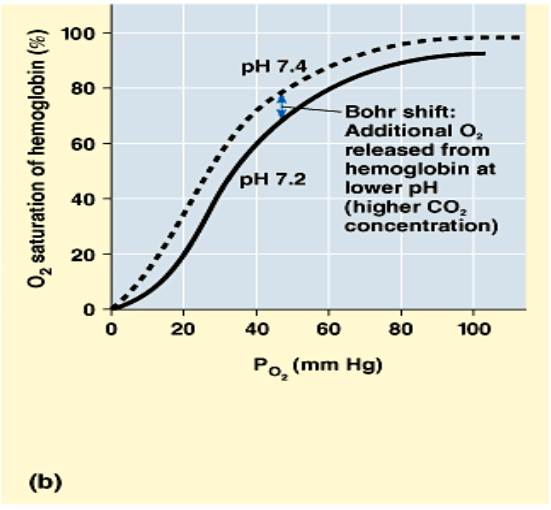
3- الحالة الإنتاجية للحيوان فالحيوانات عالية الإنتاج أو كمية الأيض أو التمثيل الغذائي فيها عالي يزداد معدل التنفس فيها .

4- عمر الكائن الحي فالكائنات صغيرة السن أو الأطفال حديثي الولادة أعلى من الكائنات البالغة لزيادة معدل النمو والتكاثر الخلوي في الصغار عن الكبار

5- عوامل بيئية خارجية كالحرارة والرطوبة النسبية في الجو والضغط الجوي أيضا تلعب دورا في زيادة أو خفض معدل التنفس للكائنات الحية .

6- تغير الأس الهيدروجيني للدم (pH) نتيجة لتغير الحموضة في الدم مما يزيد من معدل التنفس .





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