

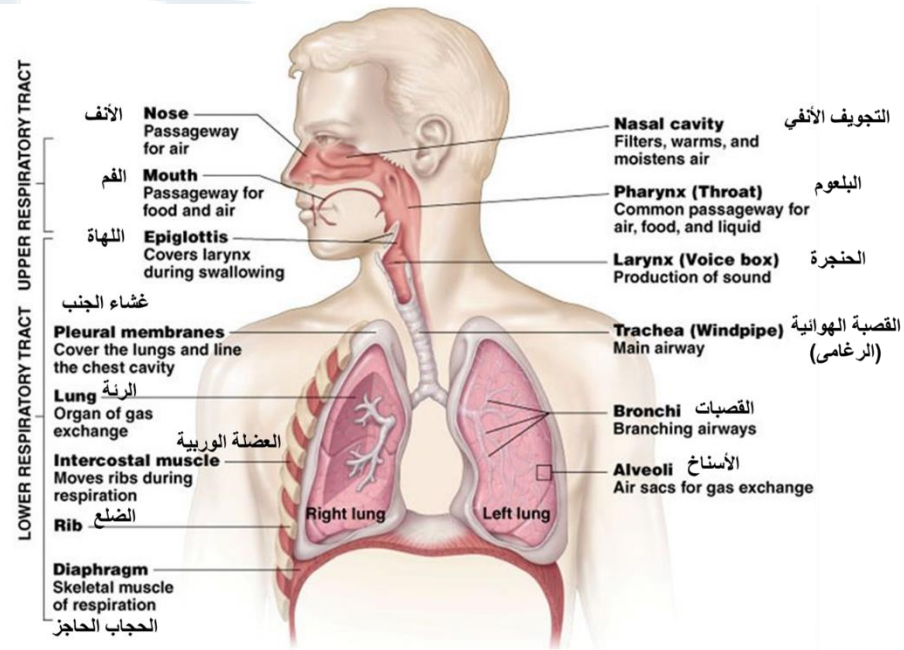


جامعة
المنارة
MANARA UNIVERSITY

فيزيولوجيا التنفس

التنفس هو جملة الآليات التي تسمح بتبادل الغازات التنفسية مع الوسط الخارجي بحيث تؤمن تزويد الجسم بالأكسجين الضروري لمختلف الفعاليات الاستقلابية وطرح CO_2 .

لمحة تشريحية:

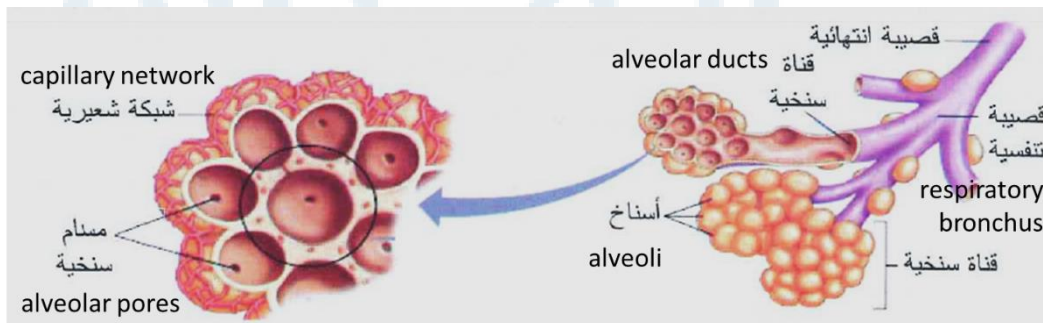


تتفرع القصبات الأولية إلى قصبات ثانوية وثالثية ثم قصبات أصغرية وقصببات وقصببات انتهائية تنتهي بالقنوات السنخية التي تقود إلى الأسناخ التي تجتمع في معظمها على شكل عناقيد تسمى بالأكياس السنخية.

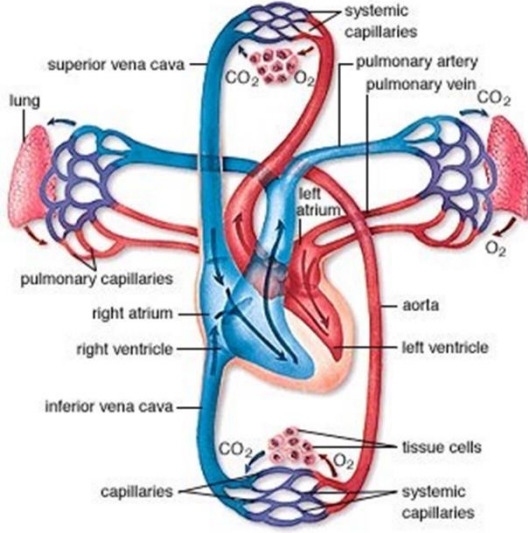
تدعى هذه المنطقة بالمنطقة التنفسية وتمتاز برقة جدرها وسعة سطحها وتماسها المباشر مع الشعيرات

الدموية الرئوية وهي منطقة التبادل الغازي. Gas exchange.

تحاط الرئة بطبقة رقيقة جداً من سائل الجنب وهو يسهل حركة الرئتين ضمن جوف الصدر.



الدوران الرئوي:



يتفرع الشريان الرئوي إلى فرعين يدخل كل فرع إلى رئة عبر السرة الرئوية، ويتفرع متماشياً مع تفرع القصبات حتى مستوى الأسناخ، حيث تتشكل حول السنخ شبكة من الشعيرات يتم فيها التبادل الغازي، ويتحول الدم الوريدي إلى دم شرياني مؤكسج.

تجتمع الأوعية بعد ذلك في وريدات تنتهي بتشكيل الأوردة الرئوية الأربعة التي تعود بالدم المؤكسج إلى الأذينة اليسرى ليدخل في الدوران الجهازي.

تتميز الشعيرات الدموية الرئوية بغزارتها وكثرة مفاغراتها وهي لا تعمل دفعة واحدة.

وإنما قسم يعمل ويزداد أو يقل تبعاً للحالة الوظيفية للعضوية.

تعادل كمية الدم المتدفقة عبر الرئتين كمية الدم المتدفقة عبر الدوران الجهازي.

تأثير نقص الأوكسجين السنخي على الجريان الدموي السنخي الموضعي

Flow Effect of Diminished Alveolar Oxygen on Local Alveolar Blood

عندما ينقص تركيز الأوكسجين في الأسناخ لما دون السواء تنضيق الأوعية الدموية المجاورة وتزداد المقاومة الوعائية خمسة أضعاف مقدار انخفاض مستوى الأوكسجين، هذا التأثير معاكس لما يحدث في الحالة السوية في الأوعية الأخرى التي تتوسع بدلاً أن تنضيق استجابة لنقص الأوكسجين.

إن لانخفاض مستوى الأوكسجين دور هام على المقاومة الوعائية وهو تحويل جريان الدم إلى أماكن أكثر فعالية.

أي عندما تنقص تهوية بعض الأسناخ بحيث يكون تركيز الأوكسجين منخفضاً فيها تنضيق الأوعية الموضعية، مما يؤدي إلى جريان معظم الدم إلى المناطق الأخرى ذات التهوية الأفضل في الرئتين (جهاز تحكم ذاتي) لتحقيق تبادل كاف للغازات التنفسية.

في نفس الوقت يتوسع المجرى الهوائي المؤدي إلى الأسناخ التي تراكم فيها CO_2 فتزداد تهويتها.

يزداد الجريان الدموي عبر الرئتين بمقدار 7.4 أضعاف أثناء التمارين المجهدة ويعود ذلك إلى زيادة عدد الشعيرات المفتوحة إلى أكثر من ثلاثة أضعاف وزيادة معدل الجريان عبر كل وعاء إلى الضعف.

تبادل السوائل عبر جدار الأوعية الشعرية

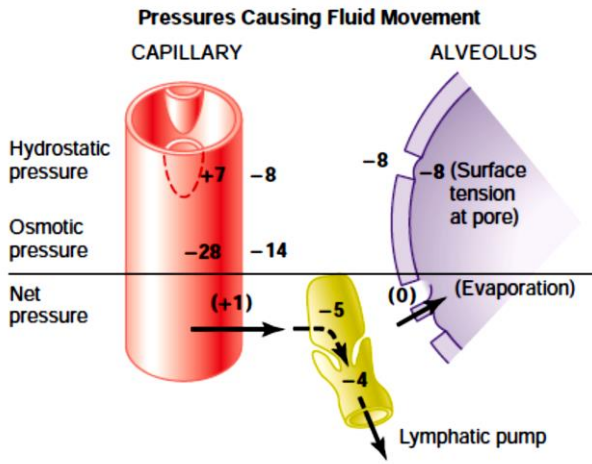
Capillary Exchange of Fluid in the Lungs

تسمح جدر الشعيرات الرئوية بمرور الماء والمواد المنحلة بالإضافة لغازات التنفس.

هناك مجموعة من القوى التي تميل لإحداث

حركة للسوائل إلى خارج الأوعية الشعرية

باتجاه الخلال الرئوي وهي:



- الضغط الرئوي الشعري الذي يعادل 7 ملم زئبقي وهو منخفض جداً إذا ما قورن مع الضغط الشعري الوظيفي

- الضغط الغرواني التناضحي للسائل الخلالي البالغ 14 ملم زئبقي والنتاج عن تسرب جزيئات البروتين من الشعيرات الرئوية.

- ضغط السائل الخلالي وهو يمثل ضغطاً سلبياً يعادل 8 ملم زئبقي.

وهذه القوى بمجموعها 29 ملم زئبقي تعمل على دفع السوائل باتجاه الخلال تعاكس ضغط الدم الغرواني البالغ 28 ملم زئبقي (وهو القوة التي تميل لإحداث امتصاص للسوائل إلى داخل الشعيرات).

أي محصلة الضغط الذي يدفع السوائل نحو الخلال تعادل 1 ملم زئبقي، يعاد السائل المرشح إلى الدوران عن طريق اللمف.

الضغط الخلالي السلي وألية المحافظة على الأسناخ جافة

Keeping the Alveoli Negative Pulmonary Interstitial Pressure and the Mechanism for "Dry"

لا تمنع الظهارة السنخية السوائل من الارتشاح، ولكن تبقى الأسناخ جافة:

• لأن أي زيادة في السوائل ستمتص تلقائياً إلى خلال الرئوي عبر الفتحات الصغيرة بين خلايا الظهارة السنخية

• ويحمل الفائض عن طريق الأوعية اللمفية الرئوية

• أو يمتص إلى الشعيرات الرئوية

الوذمة الرئوية Pulmonary edema:

هي الامتلاء المفاجئ للأفضية الخلالية الرئوية أو حتى الأسناخ الرئوية بالسوائل، تحدث بسبب:

- قصور القلب الأيسر مع زيادة شديدة مرافقة في ضغط الشعيرات الرئوية وغرق الأفضية الخلالية.
- أذية الغشاء الشعري الرئوي بسبب تنفس المواد السامة مثل غاز الكلور أو غاز ثنائي أكسيد الكبريت.

التهوية الرئوية Pulmonary Ventilation

يتم تبادل الغازات بين الأسناخ والوسط الخارجي بواسطة الحركات التنفسية التي تحدث نتيجة لعمل العضلات التنفسية.

العضلات التنفسية:

1. عضلات شهيقية Inspiration muscles

• الحجاب الحاجز Diaphragm

• العضلات الوربية الخارجية External intercostals

يحدث الشهيق نتيجة تقلص الحجاب الحاجز ويمكن أن تشترك العضلات الوربية الظاهرة.

2. عضلات زفيرية Expiration muscles

• عضلات البطن abdominal muscles

• العضلات الوربية الداخلية Internal intercostals

دور هذه العضلات في الزفير القسري ولا دور لها في الزفير العادي.

تردد التنفس (معدل التنفس): يزداد أثناء التمارين الرياضية وارتفاع درجة الحرارة ويقل في النوم، ويعادل:

16 مرة/ د بعد البلوغ، و40 مرة/ د عند الولادة.

الحركات التنفسية:

1-الشهيق: إدخال الهواء من الوسط الخارجي إلى الأسناخ الرئوية وتقوم به العضلات الشهيقية.

2-الزفير: إخراج الهواء من الاسناخ إلى الوسط الخارجي.

الزفير العادي منفعل يتم باسترخاء عضلات الشهيق، أما العضلات الزفيرية تنقلص أثناء الزفير القسري.

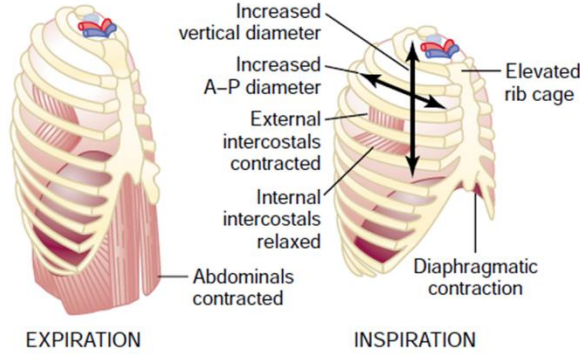
3-حركات إضافية: في مستوى المنخارين والمزمار وتتدخل في التصويت والسعال والجهد العضلي.

• تقلص العضلات الشهيقية يؤدي الى تمدد الرئتين: تقلص الحجاب الحاجز يزيد القطر العمودي

للصدر، وتقلص العضلات الوربية الظاهرة (الخارجية)

يزيد القطر الأمامي الخلفي،

فينخفض الضغط داخل الأسناخ ويندفع الهواء نحو الأسناخ.



• أثناء الزفير: يسترخي الحجاب الحاجز والعضلات

الوربية الظاهرة فيرتفع الضغط داخل الرئتين بالارتداد

المرن لكل من الرئتين وجدار الصدر ويخرج من الأسناخ

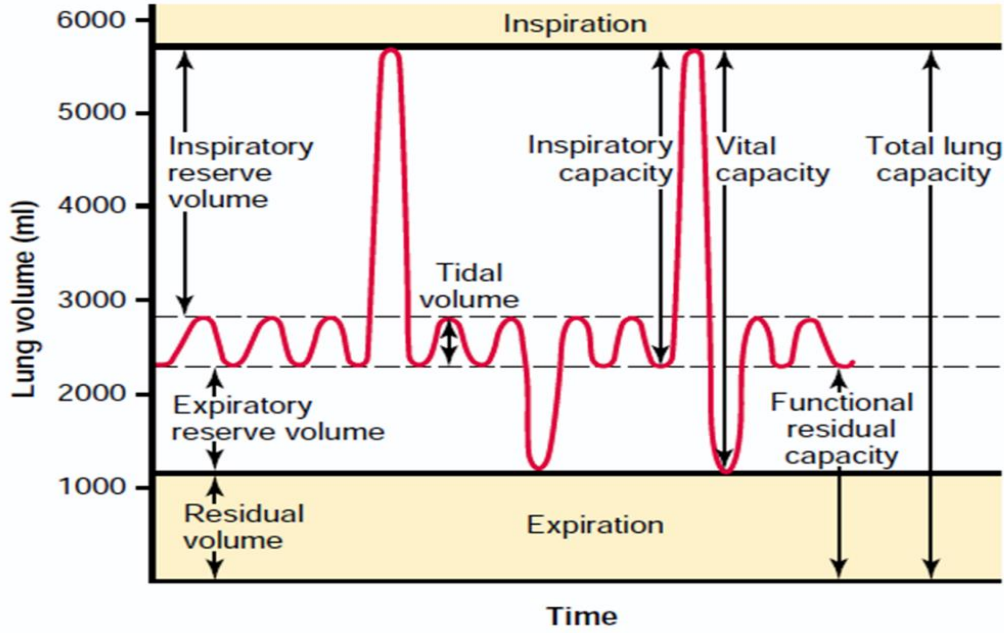
حجم معادل من الهواء ويحدث الزفير.

• أثناء التنفس الجهدى أو القسري تشارك العضلات الشهيقية الأخرى فيزداد حجم الهواء الداخلى إلى الرئتين.

• تسهم العضلات الزفيرية وخاصة المستقيمة البطنية في عملية الزفير القسري وتخرج كميات أكبر من الهواء خارج الرئتين.

Pulmonary Volumes and Capacities

تقاس عن طريق مقياس خاص هو مقياس النفس spirometer



- 1- حجم الهواء الجاري (Tidal Volume V_t): كمية الهواء الداخلة إلى الرئة خلال شهيق عادي، أو الخارجة خلال زفير عادي وتبلغ (0.5) لتر.
 - 2- الحجم الشهيق الإحتياطي (The Inspiratory Reserve Volume (I.R.V): حجم الهواء الداخل إلى الرئتين بشهيق قسري تالي لشهيق عادي ويقدر بـ (3) لتر.
 - 3- الحجم الزفيري الإحتياطي (The Expiratory Reserve Volume (E.R.V): حجم الهواء الخارج من الرئتين بزفير قسري تالي لزفير عادي ويقدر بـ (1.1) لتر.
 - 4- الحجم المتبقي (The Residual Volume (R.V): كمية الهواء المتبقية في الرئتين بعد زفير قسري ويقدر بـ (1500-1200) مل.
- يمكن جمع اثنين أو أكثر من الحجوم فنحصل على السعات الرئوية Pulmonary Capacities وهي:
- السعة الشهيقية: (I.C) The Inspiratory Capacity

تعاادل (الحجم الجاري + الحجم الشهيق الإحتياطي): أقصى كمية هواء يمكن أن يستنشقه الشخص ابتداءً من نهاية زفير عادي وحتى أقصى حد وتقدر بـ 3.5 لتر.

• السعة الوظيفية المدخرة أو المتبقية (F.R.C) The Functional Residual Capacity:

وتعاادل (الحجم الزفيري المدخر + الحجم المتبقي) وتقدر بـ (2.3) لتر: وهي كمية الهواء التي تبقى في الرئتين في نهاية زفير عادي.

• السعة الحيوية أو الحياتية: (V.C) The Vital Capacity

هي أكبر كمية هواء يمكن أن يشاركها الشخص في المبادلات وتساوي مجموع الحجم الزفيري الإحتياطي والحجم الشهيق الإحتياطي وحجم الهواء الجاري وتقدر بـ (4.6) لتر.

• السعة الرئوية الكلية (T.L.C) The Total Lung Capacity

أكبر حجم يمكن أن تتمدد إليه الرئة باستخدام أكبر جهد تنفسي ويعادل (السعة الحيوية + الحجم المتبقي) ويبلغ (5.8) لتر.

تتأثر الحجوم والسعات الرئوية بالعوامل التالية:

1- العمر: تزداد حتى سن العشرين بسبب النمو وتبقى ثابتة حتى الأربعين، وتبدأ بالتناقص بعد ذلك بسبب تأثير الأمراض المختلفة، يترافق نقص السعة الحياتية مع زيادة الحجم المتبقي وتنقص السعة الرئوية الكلية مع تقدم العمر.

2- الجنس: تكون عند الرجال أكبر مما هي عند النساء. وهي تزداد بازدياد الطول.

3- الحالة الصحية: السل وانتفاخ الرئة والربو القصبي وشلل العضلات التنفسية أمراض تسبب تناقص السعة الحيوية.

4- وضعية الجسم: تنخفض السعة الحيوية عند الاضطجاع مقارنة بالجلوس بسبب دفع الأحشاء للحجاب الحاجز بينما تزداد في الوقوف.

5- درجة اللياقة البدنية: تزداد السعة الحيوية عند الرياضيين ويمكن أن تصل إلى 7 لترات

نذكر بعض المفاهيم:

1- حجم الحيز الميت Dead space air: وهو حجم الهواء الذي لا يسهم في التبادل الغازي وهو حجم الطرق الهوائية من الرغامى وحتى الأسناخ الرئوية ويقدر بـ (150) مل.

2- التهوية الرئوية Pulmonary ventilation: وهي كمية الهواء الداخلة أو الخارجة من الرئتين في الدقيقة.

التهوية الرئوية = حجم الهواء الجاري × تردد التنفس

$$= 15 \times 0.5 = 7.5 \text{ لتر / دقيقة.}$$

3- التهوية السنخية Alveolar Ventilation: كمية الهواء الداخلة أو الخارجة من الأسناخ الرئوية في الدقيقة.

التهوية السنخية = (حجم الهواء الجاري - حجم الحيز الميت) × تردد التنفس.

$$= 15 \times (0.15 - 0.5) = 5.25 \text{ لتر / دقيقة.}$$

انتشار الغازات عبر الغشاء التنفسي

Diffusion of Gases through the Respiratory Membrane

يحدث التبادل الغازي بين هواء الأسناخ والدم عبر الأجزاء الانتهائية في الرئتين خلال ما يسمى بالغشاء التنفسي الذي يتألف من:

1. الظهارة السنخية Alveolar epithelium المولفة من خلايا ظهارية رقيقة جداً.

2. طبقة من السائل المبطن للسطح ويحوي مادة

السورفاكتانت التي تنقص التوتر السطحي للسائل السنخي.

3. غشاء قاعدي ظهاري Epithelial Basement membrane

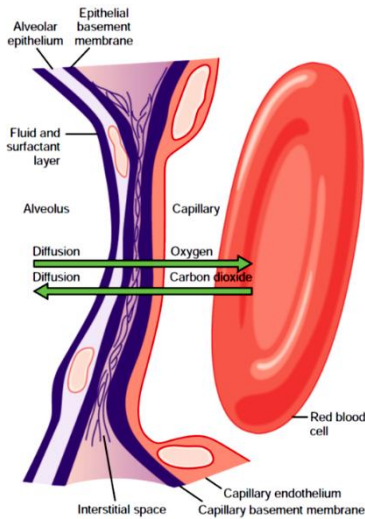
4. مسافة خلالية Interstitial space رقيقة جداً بين الظهارة

السنخية والغشاء الشعري.

5. غشاء شعري قاعدي Capillary basement membrane

يندمج في أماكن عديدة مع الغشاء القاعدي الظهاري.

6. الغشاء البطاني الشعري Capillary endothelium



متوسط ثخانة الغشاء التنفسي 0.6 ميكرومتر، ومساحة كامل سطح الغشاء التنفسي حوالي (50-100) م².



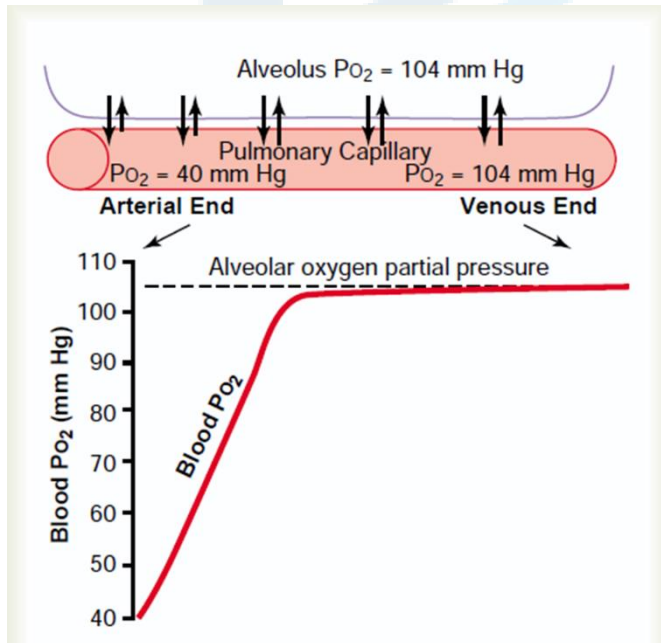
جامعة
المنارة
MANARA UNIVERSITY

العوامل المؤثرة على معدل انتشار الغازات عبر الغشاء التنفسي:

- ثخانة الغشاء (تليف أو وجود وذمة)
- مساحة سطح الغشاء (استئصال جزء من الرئة أو النفاخ الرئوي)
- معامل انتشار الغاز في ماء الغشاء (يتناسب طردياً مع قابلية ذوبان الغاز في الغشاء، وعكساً مع الجذر التربيعي لوزنه الجزيئي)
- فارق الضغط بين طرفي الغشاء مثلاً ينتشر الأوكسجين من الأسناخ إلى الدم لأن ضغطه في الأسناخ أعلى من الدم.

انتشار الأوكسجين من الأسناخ إلى الشعيرات

Capillary Blood Alveoli to the Pulmonary Diffusion of Oxygen from the



الضغط الجزئي لـ O₂ في الأسناخ 104 ملم زئبقي، وفي الشعيرات الرئوية 40 ملم زئبقي.

يندفع O₂ نحو الدم بفرق الضغط ويرتبط مع الخضاب ليتشكل الخضاب المؤكسج.

إن 98% تقريباً من الدم الذي يدخل الأذين

الأيسر من الرئتين يكون قد عبر الشعيرات

السنخية وأصبح تام الأكسجة أي أن الضغط

الجزئي لـ O₂ فيه يبلغ 104 ملم زئبقي.

2% المتبقية لا تتعرض للهواء الرئوي وتمتزج مع

الدم المؤكسج لتخفض الضغط الجزئي لـ O₂

فيه إلى 95 ملم زئبقي.

انتشار الأوكسجين من الأَسْنَاخ إلى الشعيرات ثم الخلايا

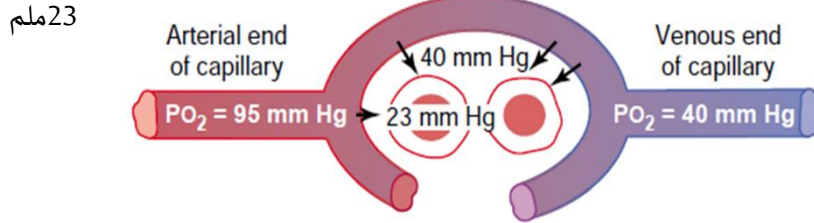
Diffusion of Oxygen from the Peripheral Capillaries into the Tissue Fluid

يبلغ الضغط الجزئي لـ O_2 في الخلال أقل من 40 ملم زئبقي لذلك يترك O_2 الخضاب ويتجه نحو الخلال ثم

نحو الخلايا حيث يبلغ

الضغط الجزئي لـ O_2

زئبقي.



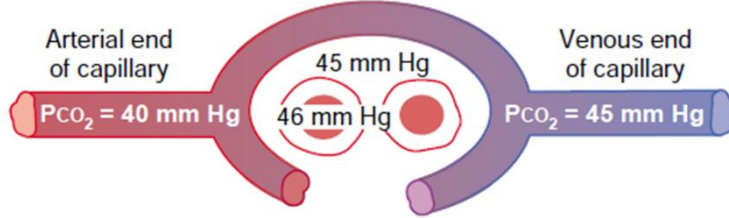
انتشار غاز ثاني أوكسيد الكربون من الخلايا إلى الشعيرات النسيجية

Diffusion of CO_2 from the Peripheral Tissue Cells into The Capillaries

يبلغ الضغط الجزئي لـ CO_2 في خلايا الأنسجة قيمة 46 ملم زئبقي،

وفي الدم الشرياني الداخل إلى النسيج

40 ملم زئبقي.



لذلك يترك CO_2 الخلايا والخلال

ويتجه نحو الدم الذي يصبح ضغط

CO_2 فيه 45 ملم زئبقي.

انتشار غاز ثاني أوكسيد الكربون من الشعيرات النسيجية إلى الأَسْنَاخ

Diffusion of CO_2 from the Pulmonary Capillaries

into the Alveoli

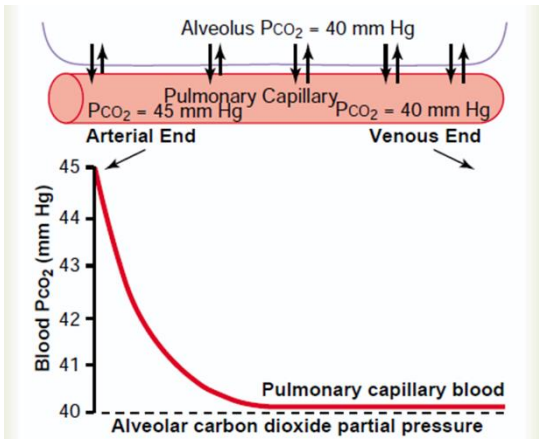
الضغط الجزئي لـ CO_2 في الأَسْنَاخ 40 ملم زئبقي

وفي الشعيرات الرئوية 45 ملم زئبقي

لذلك يترك CO_2 الدم ويطرح باتجاه الأَسْنَاخ.

إن 97% من O_2 ينتقل محمولاً على الخضاب، 3% ينتقل

منحلاً في البلازما.



إن ميزة O_2 هي ارتباطه الضعيف والعكوس مع الخضاب حسب فارق التركيز، بعكس CO الذي يتم اتحاده مع الحديد في الهيموغلوبين ويشكل الكاربوكسي هيموغلوبين وهذا الارتباط قوي ويفقد الخضاب وظيفته.

العوامل المؤثرة على درجة ارتباط الأوكسجين بالخضاب: تزداد نسبة إشباع الخضاب بالأوكسجين بـ:

- زيادة الضغط الجزئي للأوكسجين PO_2 .
- نقص الضغط الجزئي للكربون PCO_2 .
- نقص تركيز شوارد الهيدرجين H^+ (زيادة pH)
- نقص درجة الحرارة.

تنظيم التنفس

Regulation of Respiration

مراكز التنفس العصبية: يضبط التنفس منطقة عصبية تسمى مركز التنفس وهو مؤلف من مجموعة من العصبونات المنتشرة والمتوضعة في النخاع المستطيل medulla oblongata (البصلة) والجسر pons.

- وتتألف من أربعة مراكز:

- المجموعة التنفسية الظهرية (dorsal respiratory group) وتتوضع في القسم الظهرى من البصلة وهي تحدث بشكل رئيسي الشهيق.
- المجموعة التنفسية البطنية (ventral respiratory group) وتتوضع في القسم الوحشي البطني من البصلة ويمكنها أن تحدث كلاً من الشهيق والزفير.
- المركز المنظم للتنفس (pneumotaxic center) ويقع أعلى الجسر ويساهم في التحكم بمعدل ونمط التنفس.
- المركز الناهي (Apneustic center) يقع أسفل الجسر ويعمل بالتعاون مع المركز المنظم للتنفس للتحكم في عمق الشهيق.

تدخل المراكز التنفسية في عملية التنفس بطريقتين: عصبية وكيميائية.

التنظيم العصبي للتنفس الرئوي:

- يتم التنظيم العصبي للتنفس عن طريق منعكسين عصبيين:

• الأول: ينطلق من الرئة.

• الثاني: ينطلق من القفص الصدري.

الأول: إن تمدد الأسناخ في الشهيق يولد منعكس الزفير وانخماصها في الزفير يولد منعكس الشهيق وهكذا في الحالة العادية لا يوجد تنبيه إلا في نهاية الشهيق حيث يؤدي لتثبيط الفعالية الحجابية ويحدث الزفير بآلية انعكاسية.

الثاني: ينطلق من القفص أثناء التمدد، فتتمدد القفص الصدري ينبه التنفس.

في التنفس الهادئ يكون الزفير منفعلاً ولا دور لمركز الزفير

في حالة التهوية المفرطة يرسل المركز سيالاته إلى العضلات الوربية الباطنة والمستقيمة البطنية مما يؤدي إلى زفير فعال.

تحديد منعكس الشهيق بواسطة منعكس هيرنغ – بروير:

توجد مستقبلات التتمطط stretch receptors في جدر القصبات والقصيبات وفي كامل الرئة، ترسل إشارات إلى المراكز التنفسية عبر المهيمن عندما تتمطط الرئة إذ تحرضها على وقف الشهيق ومنع أي إضافة له وهذه آلية وقائية تمنع الرئة من التمزق. ويزيد هذا المنعكس معدل التنفس.

التنظيم الكيميائي للتنفس:

- تنبه زيادة CO_2 ، H^+ المركز التنفسي نفسه محدثة زيادة كبيرة في شدة إشارات الشهيق المرسله للعضلات التنفسية أما تبدلات O_2 فلا تملك تأثيراً مباشراً هاماً على المركز التنفسي في الدماغ لكنه يؤثر على المستقبلات المحيطة في السباتي والأبهر والتي تصدر إشارات إلى مركز التنفس.

- لا تتأثر المراكز العصبية المذكورة سابقاً بشكل مباشر بتغيرات CO_2 ، H^+ وإنما يوجد مركز مجاور حساس كيميائياً يتحسس لهذه التغيرات ويثير بدوره الأجزاء الأخرى من مراكز التنفس.

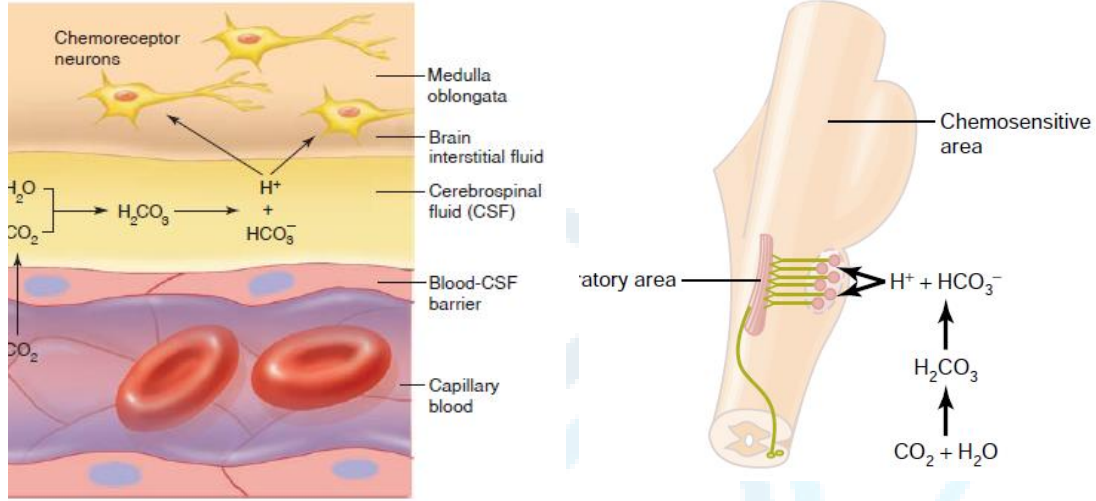
الهيدروجين المنبه الأولي: إن عصبونات المستقبلات الكيميائية حساسة بشكل خاص لشوارد H^+ وهو المنبه الأساسي، لكن شوارد الهيدروجين لا تجتاز الحاجز الدماغي بسهولة لذلك يكون تأثير زيادتها في الدم أقل من CO_2 الذي يعمل بشكل مباشر وغير مباشر.

تأثير CO_2 : لـ CO_2 تأثير مباشر على تنبيه عصبونات المنطقة الحساسة كيميائياً لكنه يملك تأثير غير مباشر فعال جداً وذلك عن طريق تفاعله مع الماء وتشكيل حمض الكربون الذي يتفكك إلى بيكربونات وهيدروجين



جامعة
المنارة
MANARA UNIVERSITY

وذلك بعد وصوله للسائل الخلالي في البصلة والسائل الدماغي الشوكي، الذي بدوره يعزز التأثير على مركز التنفس.



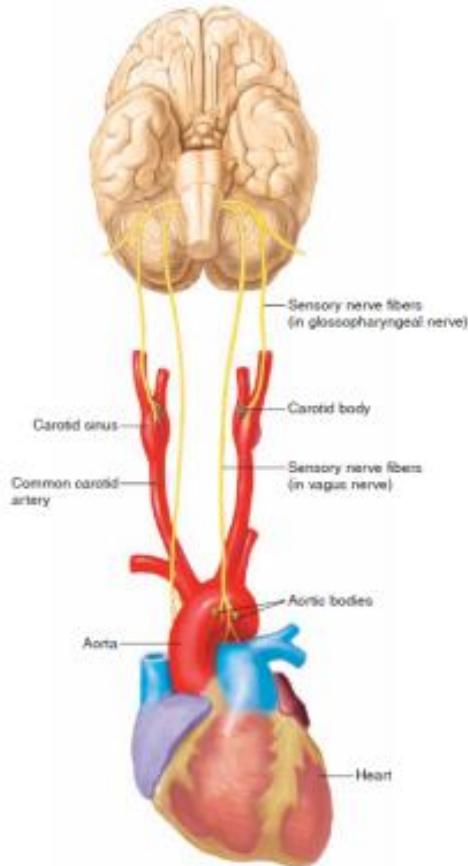
لا تملك تغيرات PO_2 تأثيراً مباشراً على التنفس إلا إذا انخفض بشدة، فألية عمل الخضاب تسمح بتأمين ما يكفي للنسج حتى وإن انخفض ضغطه حتى 60 ملم زئبقي بينما تبدلات PCO_2 تؤثر بشكل مباشر وقوي، وهذا يشكل خط دفاع أولي وقائي.

المستقبلات المحيطية:

مجموعة من المستقبلات الحساسة كيميائياً تنشر في الجيب السباتي وقوس الأهر وهي حساسة لتبدلات PO_2 إذ يؤدي نقصه (خاصة إذا انخفض إلى 60 أقل من ملم زئبقي) إلى تنبيه هذه المستقبلات التي تنتقل سيالاتها عبر العصبين البلعومي اللساني والمهم ومنها إلى مركز التنفس فيزداد العمل التنفسي.

التنفس في المرتفعات:

في المرتفعات العالية (3000 متر) يهبط الضغط الجزئي للأكسجين حتى 60 ملم زئبقي مما يحرض المستقبلات المحيطية الكيميائية فتنبه مركز التنفس وتزداد الفعالية





التنفسية وينقص بالنتيجة H ، PCO_2 الأمر الذي يثبط مركز التنفس وتظهر أعراض مرض المرتفعات (Altitude sickness) أو مرض الجبال الحاد (acute mountain sickness) مثل الصداع والغثيان والدوار بسبب نقص الأكسجين الذي يتعزز بتقبض الأوعية الدموية التالي لنقص الكربون.

بعد ساعات يتأقلم مركز التنفس مع التراكيز المنخفضة لـ PCO_2 فيزداد معدل التنفس ويتحسن مستوى الأكسجين، تشارك الكلية في التأقلم بتصحيح القلاء التنفسي، ثم يزداد عدد الكريات الحمر بتحريض زيادة إفراز الأريثروبويتين من الكلية.

جامعة
المنارة
MANARA UNIVERSITY