فسيولوجيا التنفس Respiratory Physiology

التنفس Respiration

هو عملية تبادل الغازات بين المادة الحية ومحيطها الخارجي .

وتصنف عملية التنفس الى 3 عمليات مختلفة على الرغم من كونها متعاقبة مع بعضها ، وهذه العمليات هي

1- التهوية الرئوية Pulmonary Ventilation

ويقصد بها حركة الهواء الى داخل الرئتين وخروجه منها ، اي عمليتي الشهيق والزفير .

2- التنفس الرئوي والتنفس الداخلي Pulmonary and Internal Respiration

ويقصد بها انتقال الغازات التنفسية (الاوكسجين وثاني اوكسيد الكاربون) بالانتشار بين الاسناخ او الحويصلات الرئوية والدم ، ونقل الاوكسجين بوساطة الدم من الرئتين الى الانسجة والعودة بثاني اوكسيد الكاربون من انسجة الجسم الى الرئتين ، واخيراً انتقال غاز الاوكسجين من الدم الى خلايا الجسم واخذ ثاني اوكسيد الكاربون منها بعملية الانتشار ايضاً .

3- التنفس الخلوي Cellular Respiration

ويقصد به عملية تحرير الطاقة بعملية الهدم الغذائي . فهو ذروة عملية التنفس باكملها ويشمل على الكثير من الخطوات التي تشترك فيها الانزيمات التنفسية ومساعدتها تؤدي الى تحرير الطاقة .

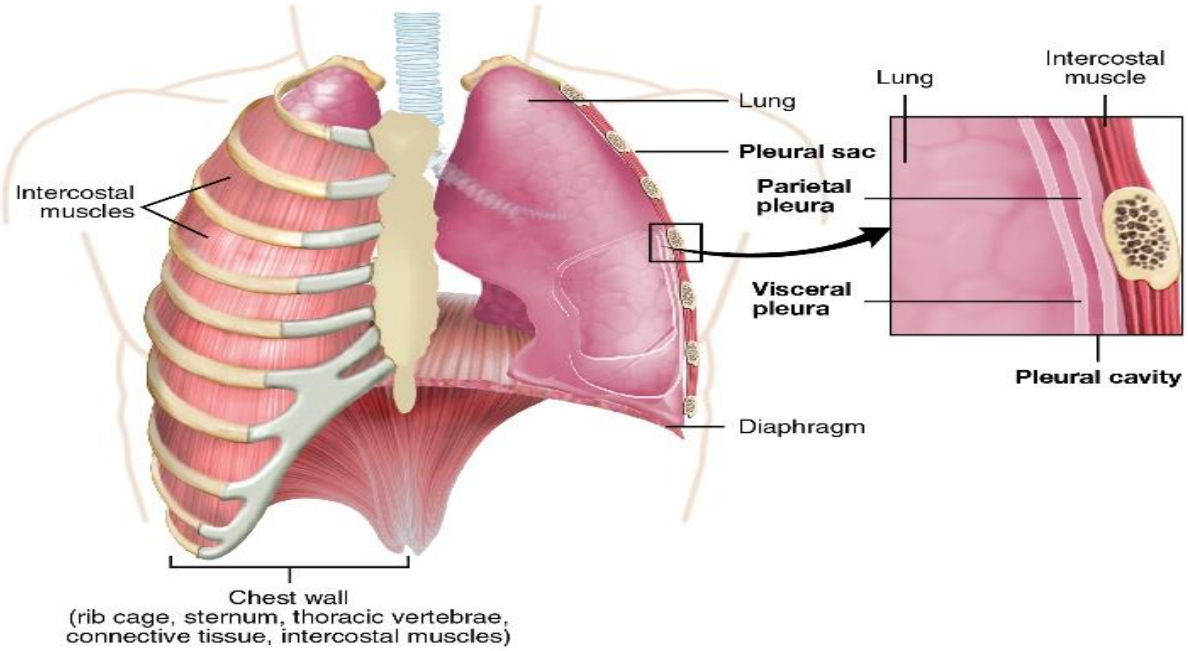
وتتباين وسائل التنفس والاعضاء التنفسية في الحيوانات المختلفة ، حيث ان بعض الحيوانات الواطئة لا تمتلك اي اعضاء للتنفس او دماً او صبغات تنفسية لان نسبة مساحة سطح الجسم الى كتلتها عالية ، ويصل الاوكسجين بالسرعة المطلوبة الى جميع انحاء الجسم ، لذلك فان احتياجها للاوكسجين يكون محدود بسبب كون معدل ايضها الغذائي واطئ .

اما في الحيوانات الاكثر رقياً نجد هناك دورة دموية دون ان يكون لديها اعضاء للتنفس ومثال ذلك الديدان الحلقية وتمتلك الحيوانات الاكثر تطوراً منها دماً يحتوي على صبغة تنفسية التي تزيد من كفاءة الدم في نقل غازي الاوكسجين وثاني اوكسيد الكاربون ، واعضاء خاصة للتنفس كالغلاصم والقصيبات والرئات اذ توفر الغلاصم والرئات سطح واسع من غشاء مخاطي يتم خلاله التبادل الغازي بين المحيط الخارجي والدم . ويؤدي الجهاز القصيبي (في الحشرات) وظيفة الغلاصم والرئات لكنه يختلف عنها في ان الهواء يصل بوساطته الى كل خلية من خلايا الجسم حاملا لها O_2 وعائداً منها بـ CO_2 .

التنفس في الانسان

يتنفس الانسان بالرئتين الواقعتين في التجويف الصدري Thoracic Cavity وتتكون الرئة اليمنى من 3 فصوص بينما تتكون الرئة اليسرى من فصين ، يجهز كل فص من هذه الفصوص تجهيزاً هوائياً ودموياً خاصاً به .

وتحاط الرئتان بغشاء مصلي مزدوج Serous Membrane يعرف بغشاء الجنب Pleura ويسمى الغشاء الذي يحيط بالرئتين بغشاء الجنب الاحشائي Visceral Pleura بينما يسمى الغشاء المصلي المبطن لتجويف القفص الصدري بغشاء الجنب الجداري Parietal pleura . ويطلق على الفسحة الكائنة بين الطبقتين بالتجويف الجنبي Pleural Cavity وهو فسحة رقيقة يملؤها سائل انزلاقي لمفاوي يفرزه غشاء الجنب يعمل على منع احتكاك الغشائين الجنبيين خلال عملية الشهيق التي تتمدد فيها الرئتان ، ويلتهب الغشاءان الجنبيان مسببين مايعرف بالتهاب ذات الجنب Pleurisy الذي من اعراضه الام جنبية خلال عملية الشهيق .

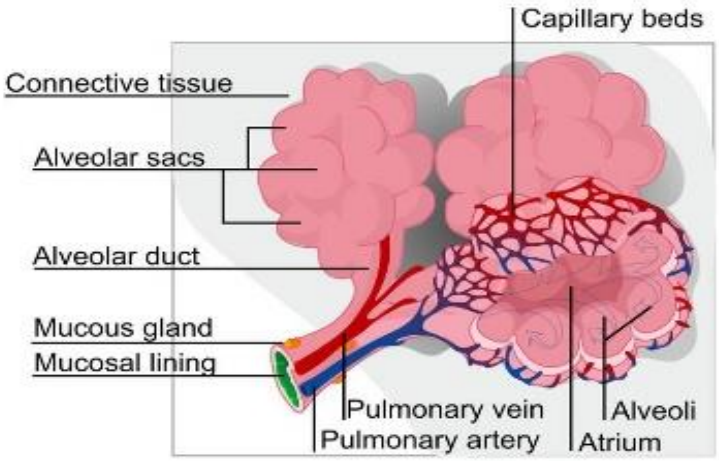


شكل يوضح التجويف الصدري (الرئتين والاغشية المحيطة بها)

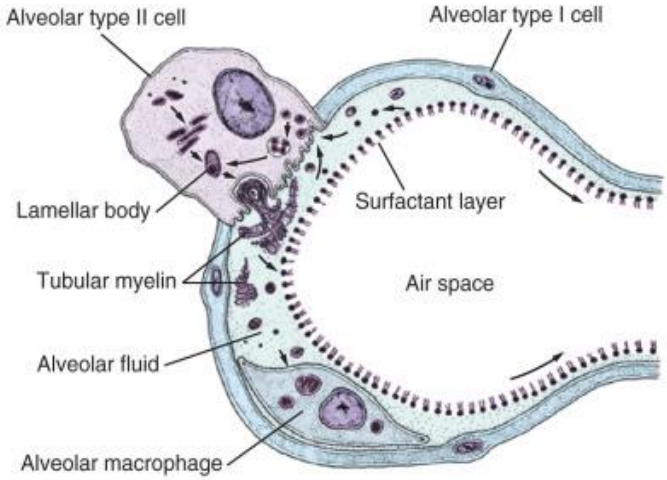
يدخل الهواء من فتحتي المنخرين اللذين يعملان على تصفية وترطيب وتعديل درجة حرارة الهواء الداخل من خلالهما . ويمر الهواء بالبلعوم والحنجرة والقصبة الهوائية والقصيبات التي تنتهي بفروع ادق لتشكل في نهاياتها جيوباً تسمى الجيوب السنخية Alveolar sacs اذ تتسع جدران هذه الجيوب مكونة ما يعرف بالاسناخ او الحويصلات الهوائية Alveoli التي يبلغ عددها 300 مليون حجيرة تقريباً في كلا الرئتين ، ويبلغ قطر الواحدة منها حوالي 0.2 ملم وتحاط بجدار مكون من صف واحد من الخلايا الطلائية المسطحة يغطيه فلم رقيق من سائل خاص يعمل على جعل السطح رطباً دائماً ، وتغذيه من الخارج شبكة من الاوعية الدموية الشعرية الرئوية وتبلغ مساحة جدران الاسناخ المتاخمة او الملاصقة للاوعية الدموية حوالي 70م^2 ، ويضم جدار الاسناخ الطلائي نوعين رئيسين من الخلايا :

النوع الاول (الخلايا الحرشفية السنخية) Type I Pneumocytes: تكون الخلايا رقيقة ومسطحة ، مفروشة السايتوبلازم تغطي معظم السطح الخارجي للاسناخ الرئوية (تشكل 95 % من مساحةالحويصلة) والتي تعد الحاجز المسؤول عن عملية تبادل الغازات بين الحويصلات والشعيرات الدموية .

النوع الثاني Type II Pneumocytes : تكون خلاياها مكعبية الشكل اكثر سمكاً من الخلايا الرئوية النوع الاول ، تمتلك العديد من الحبيبات وتحتوي على عدد من الصفائح ، تفرز هذه الخلايا مركب مهم يدعى Surfactant يتكون من البروتينات والدهون الفوسفاتية phospholipid يعمل على تقليل الشد السطحي لجدار الحويصلات الهوائية في الرئتين اي انها تنظم انتفاخ الرئتين وبقاء قنواتها واسناخها مفتوحة لتسهيل عملية التبادل الغازي ، كما ان لخلايا النوع الثاني دور مهم في اصلاح غشاءالحويصلات الرئوية عندما يتعرض للتلف .



شكل (1)



شكل (2)

(1) الاسناخ والتجهيز الدموي

(2) تجويف السنخ او الحويصلة الهوائية (خلايا النوع الاول والثاني)

يحتوي التجويف الداخلي للحويصلات الرئوية على نوع اخر من الخلايا تدعة بالبلاعم السنخية Alveolar macrophage وهي خلايا ملتهمة بلعمية كبيرة قابلة للتحرك وظيفتها ابتلاع الاجسام الغريبة التي تدخل الى الرئتين مثل البكتريا وجزيئات الكربون وخلايا الدم التالفة والغبار .

بالاضافة الى ذلك يوجد خلايا لمفاوية وخلايا بدينة Mast cell (تحتوي على الهيبارين) وانواع من الدهون والهستامين ومركبات متعددة الببتيدات المشتركة في تفاعلات الحساسية .

ولا تتساوى حجوم جميع الاسناخ في الرئتين وهذا يجعل قوى الشد السطحي متمكنة من جعل ضغط الهواء في الاسناخ الصغيرة اعلى منه في الاسناخ الكبيرة الحجم ، ولما كان المفروض ان يكون الضغط في جميع

فصوص الرئتين متساوياً اصبحت الاسناخ الصغيرة صعبة الانتفاخ في حين تكون الاسناخ الكبيرة سهلة الانتفاخ ولهذا السبب تضمر الاسناخ الصغيرة تدريجياً دافعة الهواء الى الاسناخ الكبيرة التي تنتفخ تدريجياً .

الحجوم التنفسية Respiratory Volume

يتجدد هواء الاسناخ بمعدل يوازي استهلاك O2 ومعدل انتاج CO2 ، كي يبقى الضغط الجزئي للاوكسجين (PO2) عاليا وثابتاً والضغط الجزئي لثاني اوكسيد الكاربون (PCO2) واطئاً وثابتاً في هواءها اثناء الراحة او الاجهاد . ويقاس حجم الهواء الداخل الى الرئتين والخارج منها بوساطة جهاز قياس التنفس Respirometer .

يجدد الانسان البالغ الذكر او الانثى الهواء في كل عملية شهيق Inspiration ويتم ذلك بتقلص العضلات ما بين الاضلاع التي ترفع جدار الصدر عالياً الى الامام و تقلص عضلة الحجاب الحاجز Diaphragm الذي ياخذ وضعا افقيا (مستوياً) بعد ان كان محدبا الى الاعلى بالنتيجة يؤدي الى توسع القفص الصدري وبذلك ينخفض الضغط في تجاويف الجنب وفي داخل الاسناخ فيدخل الهواء الى الرئتين ، ويعتبر الشهيق عملية ايجابية يصرف فيها جهد عضلي يحتاج الى طاقة .

اما الزفير Expiration فهو عملية سلبية تتم نتيجة ارتخاء العضلات التنفسية ورجوع الاضلاع والحجاب الحاجز الى وضعهما الطبيعي وبذلك يقل حجم الصدر والرئتين فيخرج الهواء من الرئتين .

اما اهم الحجوم التنفسية

1- الحجم المدي او الموجي Tidal Volume (TV)

حجم الهواء الذي يدخل الرئتين او يخرج منها اثناء التنفس الاعتيادي عند الراحة ويعتمد مقدار هذا الحجم على نشاط العضلات بالدرجة الرئيسية ويبلغ في الانسان 500 سم^3 او 0.5 لتر .

2- الحجم الاحتياطي الشهيقي Inspiratory Reserve Volume (IRV)

هو الكمية الاضافية الذي ياخذه الانسان من الهواء بالاضافة الى الحجم المدي بصورة لا ارادية اثناء الاجهاد او بصورة ارادية اثناء الراحة وتقدر بـ 3.3 لتر عند الرجل البالغ و1.9 لترعند المراة البالغة . (او كمية الهواء الداخل الى الرئتين بأعمق شهيق مستطاع بعد شهيق اعتيادي)

3- الحجم الاحتياطي للزفير Expiratory Reserve Volume (ERV)

هو الكمية الاضافية الذي يطرحه الانسان من الهواء بعد كل عملية زفـــير اعتيادية وتـــقدر بـ 1لتر عند الرجل و0.7 لتر لدى المرأة ، وينخفض مقدار الحجم الاحتياطي للشهيق والزفير بازدياد حجم الهواء المدي .

(او كمية الهواء الخارجة من الرئتين باعمق زفيرمستطاع بعد زفير اعتيادي)

4- السعة الحيوية Vital Capacity (VC)

هي مجموع حجوم الهواء المدي والاحتياطي للشهيق والاحتياطي للزفير ، لذلك يستطيع الذكر البالغ ان يجدد 4.8 لتر يقابله 3.1 لتر عند المرأة من هواء الرئتين في كل حركة تنفسية .

ان حجم الهواء المدي يزداد خلال الاجهاد العنيف وذلك عند ازدياد معدل الشهيق والزفير حتى يصل الى حدود السعة الحيوية .

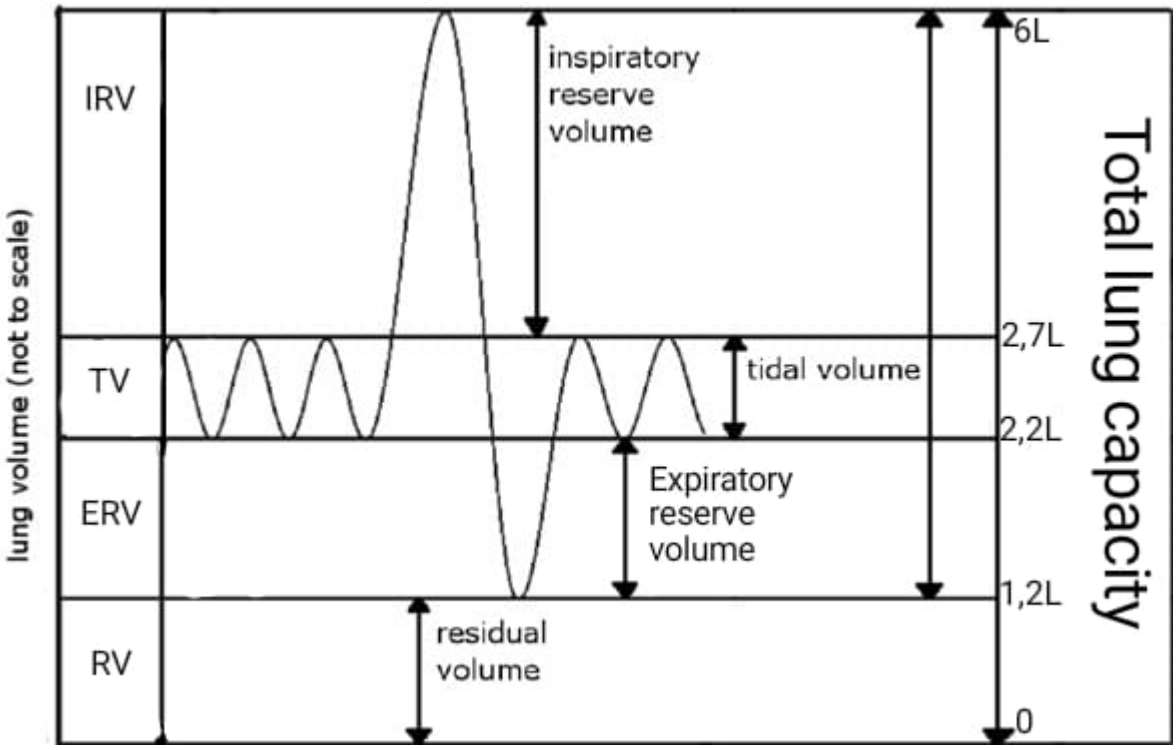
5- الحجم المتبقي او الثمالي Residual Volume

هو كمية الهواء المتبقية في الرئتين بعد اعمق زفير ويقدر بحوالي 1.2 لتر عند الرجل و1.1 لتر عند المرأة ، ويساعد الحجم الثمالي على استمرار تبادل الغازات بين الدم وهواء الاسناخ خلال الدورة التنفسية الكاملة .

- كما ان 150 سم^3 تقريباً من الحجم المدي يبقى في ممرات الانف والرغامي والقصيبات وباقي اجزاء الممرات التنفسية الاخرى حيث لا يتم تبادل غازي لهذا الحجم ويطلق عليه مصطلح الحيز الميت Dead space .
- تبقى كمية قليلة من الهواء في الرئتين حتى بعد استئصالها من الجسم اي انه لا يمكن تفريغ الرئتين كلياً من الهواء اطلاقاً.

6- السعة الكلية للرئتين Total lung capacity

هي مجموع السعة الحيوية والحجم الثمالي وتبلغ 6 لتر عند الرجل يقابلها 4.2 لتر عند المرأة .



شكل بياني يوضح حجوم الهواء التنفسية

الحجوم الرئوية / لتر للبالغين من الاناث والذكور		
الحجم الرئوي	حجم الهواء / لتر عند الرجل	حجم الهواء / لتر عند المرأة
1- الحجم المدي TV	0.5	0.5
2- الحجم الاحتياطي للشهيق IRV	3.3	1.9
3- الحجم الاحتياطي للزفير ERV	1	0.7
4- السعة الحيوية VC	4.8	3.1
5- الحجم الثمالي او المتبقي RV	1.2	1.1
6- السعة الكلية للرئتين TLC	6.0	4.2

معدل وحجم التنفس Rate and Volume Breathing

يتراوح معدل التنفس للحركات التنفسية الطبيعي في الانسان البالغ مابين 12-18 / الدقيقة الواحدة وهذا العدد عرضه الى تغير كبير تبعا لعدة عوامل وهي

1-العمر Age :حيث يتراوح عدد الحركات التنفسية عند الاطفال حديثي الولادة 40 و70 / دقيقة ويبلغ عددها 20 / دقيقة عند الاطفال في سن (5) سنوات وفي الاولاد في عمر 15 سنه يصبح عددها 20 / دقيقة ليصل الى 17 / دقيقة عند الرجال في عمر 30 سنة بينما نراها غير منتظمة عند كبار السن .

2- الوضع الفسيولوجي للكائن فعددها اثناء الاجهاد او الرياضة قد يصل الى 100 / دقيقة ، ويكون عددها في الشخص النائم اقل مما عليه في حالة اليقضة .

3- تزداد الحركات التنفسية بفعل الاجهاد العضلي وارتفاع درجة حرارة الجسم والحالة العاطفية

4- الجنس Sex : يكون عددها عند النساء اكثر منه عند الرجال بمقدار 2-4 / دقيقة .

وتقاس كمية الهواء الداخل والخارج الى الرئتين في الدقسقة الواحدة عن طريق قياس معدل وعمق الحركات التنفسية ، ويطلق على هذه الكمية مصطلح حجم الدقيقة Respiratory Minute Volume الذي يبلغ 6 لتر / دقيقة وهو في حالة الراحة غير ان مقدار حجم الدقيقة الفعال (الذي يسمى بتهوية الاسناخ (Alveolar Ventilation) يبلغ حوالي 4.2 لتر / دقيقة عند الراحة بسبب وجود الحيز الميت (Dead space) .

هناك عدد من المصطلحات تستخدم في وصف معدل وعمق التنفس اهها :

1- يسر التنفس Eupnea : ويقصد به التنفس الاعتيادي الهادي
2- عسر التنفس Hyperpnea
هو ازدياد معدل الحركات التنفسية او عمقها كالذي يحصل عند اجراء التمارين الرياضية
3- عسر التنفس الشديد Dyspnea

ويقصد به التنفس الذي يتم بصعوبة مصحوباً بالم ومشقة شديدين

4- الاختناق Apnea ونعني به توقف التنفس المؤقت (انقطاع النفس)

5- البهر Polypnea ويقصد به سرعة وسطحية التنفس اي تتابعه وتقطعه .

تهوية الاسناخ Alveolar Ventilation

وتعني التهوية عملية تجديد هواء الاسناخ ، بحيث يبقى تركيز الاوكسجين وثاني اوكسيد الكاربون ثابتاً فيها على الرغم من انتقال O2 من الاسناخ الى الدم وانتقال CO2 من الدم الى الاسناخ .

نقل الغازات Transport of Gases

كي يتم التعرف على كمية O2 و CO2 المستهلك والمتحرر لابد من فهم باختصار القوانين التي تتحكم بذوبان الغازات في السوائل :

اولاً / قانون هنري

عندما تتعرض جزيئات الغاز لسطح السائل سوف تتخلله وتذوب فيه نتيجة لحركتها المستمرة ، وتدخل اعداد كبيرة من جزيئات الغاز بسرعة عندما يتم تعريضها للسائل في اول الامر ، بعد ذلك تبدأ اعداد قليلة من الجزيئات الذائبة بمغادرة السائل ، ويقل بالتدريج عدد الجزيئات الداخلة في وحدة الزمن ، ويزداد بالمقابل عدد الجزيئات المغادرة للسائل حتى تتساوى الاعداد الذائبة والمتحررة ويصبح حينئذ الغاز الحر فوق المحلول في حالة اتزان مع الغاز المذاب ، ويتشبع المحلول بالغاز تحت ظروف التجربة . ويصبح ضغط الغاز المذاب في المحلول (الذي هو القوة التي تقود جزيئاته لمغادرة المحلول) مساويا لضغط الغاز الحر فوق المحلول (الذي يقود جزيئات الغاز الحر الى داخل المحلول) ، وخفض ضـــغط الاخير يخل بالتوازن وتبدأ جزيئات الغاز بمغادرة المحلول حتى يعاد تثبيت التوازن عند مقدار ضغط جديد .

ينص قانون هنري على ما يأتي (تتناسب كمية الغاز المذاب في محلول – عند درجة حرارة ثابتة – مع الضغط الجزئي للغاز الحر فوق المحلول ومعامل ذوبانه Solubility Coefficient) حيث ان:

حجم الغاز المذاب = حجم المحلول x الضغط x معامل الذوبان

وعند رفع درجة الحرارة تقل كمية الغاز المذاب في المحلول ن وتعتمد\ كمية الغاز المذاب (عند ضغط ودرجة حرارة محددين) على طبيعة كل من الغاز والمحلول .

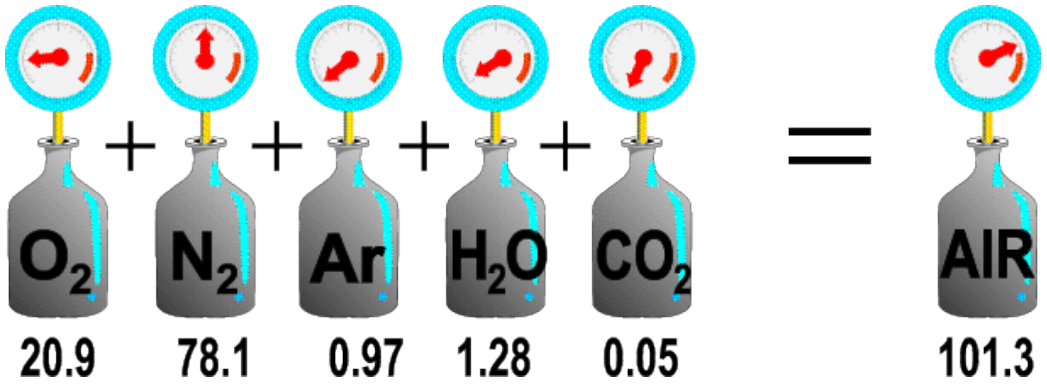
مثال / للاطلاع

فمثلاً تستطيع 100 سم^3 من الماء المقطر (تحت ظروف ثابتة) ان تاخذ حتى 4.9 سم ^{3} من O2 ، وتستوعب حتى 171 سم^3 من CO2 وتنخفض هذه القيم عندما تكون درجة الحرارة (40 مْ) حيث يصل حجم O2 المذاب الى 2.3 سم^3 وحجم CO2 الى 53 سم^3 / 100 سم^3 من الماء المقطر .

ثانياً / قانون دالتن Dalton's Law

(يسلط كل غاز موجود في مزيج من الغازات ضغطاً يتناسب ونسبته المئوية في الخليط العام) ويقدر هذا الضغط بوحدات الملم زئبق ، وبذلك يكون مقدار الضغط الكلي للخليط مساوياً لمجموع ضغوط الغازات كلاً على انفراد .

لقد تكيف دم الفقريات بصورة جيدة لنقل غاز O2 و CO2 بين الرئتين والانسجة وذلك للاهمية الفسيولوجية لهذين الغازين ويتغير مقدارهما في الانسجة والدم الوريدي .



*نقل الاوكسجين Oxygen Transport

تعتبر الرئتين المصدر الرئيسي في تجهيز الدم بالاوكسجين ، ويعتمد تجهيز انسجة الجسم بالاوكسجين على العوامل الاتية :

1- كمية O2 الداخل الى الرئتين
2- الكمية الكافية من غاز الاوكسجين المشتركة في عملية التبادل الغازي .
3- كمية الدم القادمة الى النسيج
4- كفاءة الدم في حمل الاوكسجين.

يتم تحديد كمية الاوكسجين في الدم بالحالات الاتية :

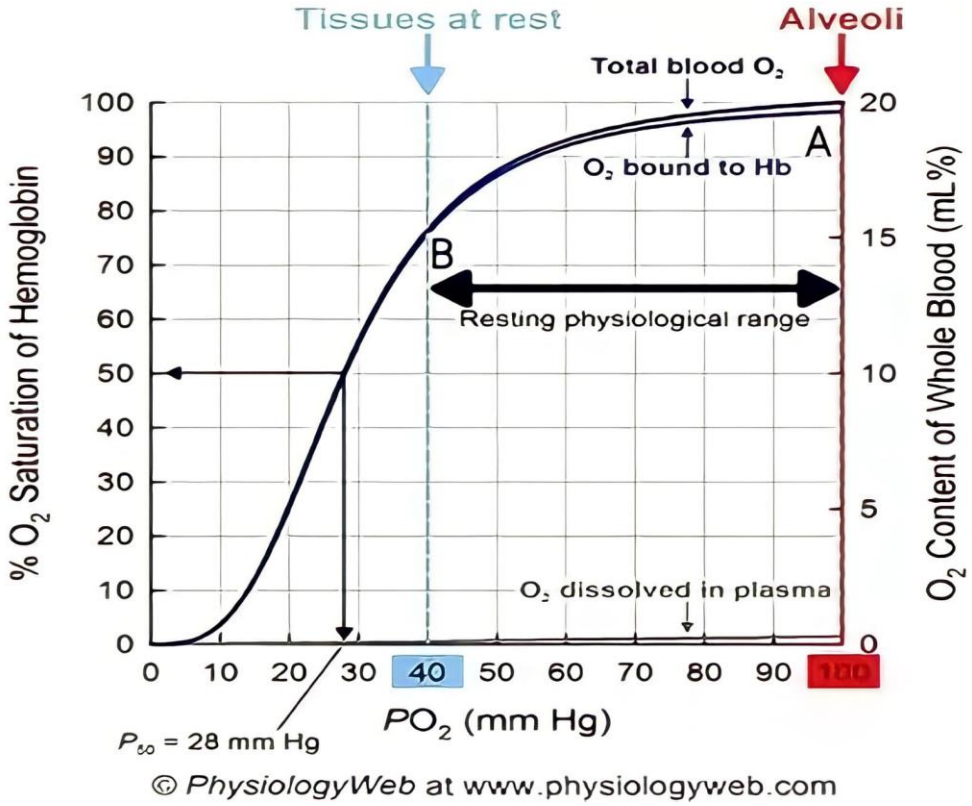
1- كمية O2 الذائب في الدم
2- كمية الهيموكلوبين في الدم
3- درجة الفة الهيموكلوبين للاتحاد مع الاوكسجين

ويتضح من ذلك ان كمية الاوكسجين المحمولة تعتمد على خاصية الهيموكلوبين للاتحاد مع الاوكسجين . اذ ان كل 1 غرام من الهيموكلوبين له القابلية على الاتحاد بـ 1.3 سم^3 من الاوكسجين ، فاذا كان لشخص 15 غرام من الهيموكلوبين / 100 سم^3 من الدم فانه سيتمكن نظرياً من حمل 1.3 x 15 سم^3 = 19.5

سم^3 وهذه الكمية محسوبة لكل 100 سم^3 من الدم ، وتسمى هذه الكمية **بسعة الاوكسجين Oxygen Capacity** وتعني كمية الاوكسجين التي يحملها الدم عندما يكون الضغط عالياً جداً وعندما يكون الهيموكلوبين مشبعاً كلياً بالاوكسجين .

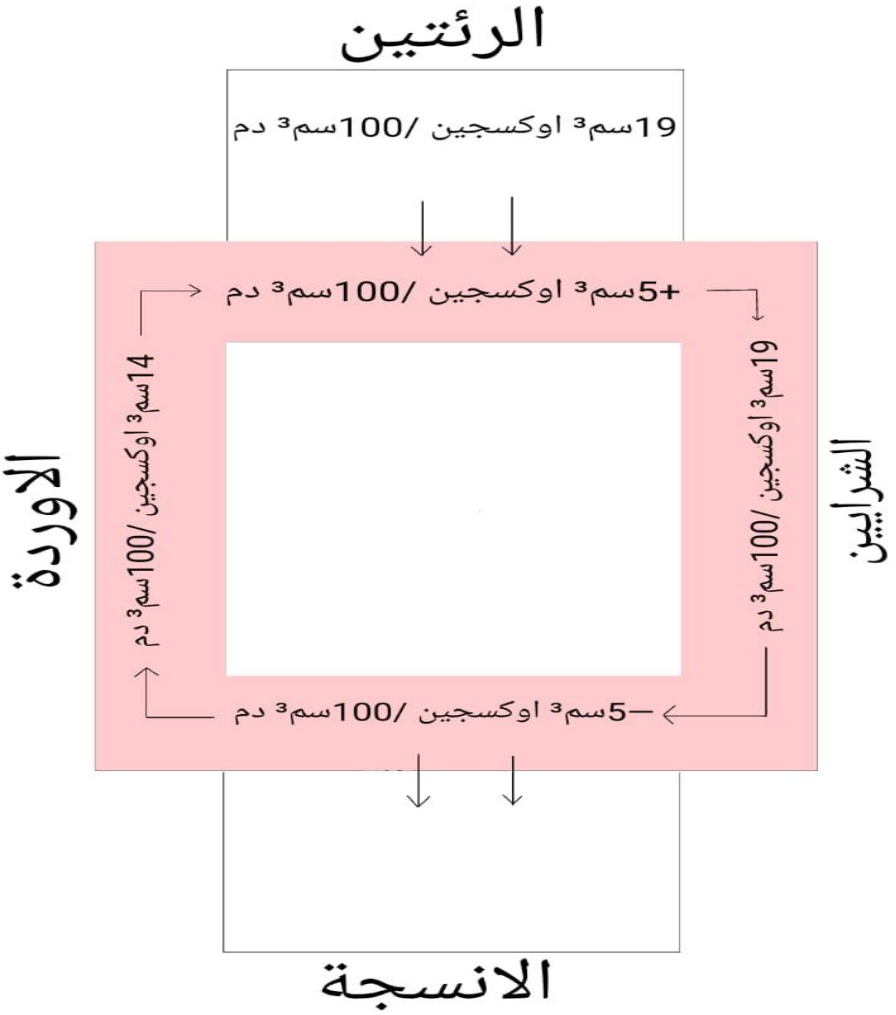
وعللى هذا الاساس فان الدم الخارج من الرئتين له ضغط مقداره 100 ملم زئبق ويحتوي على كمية من الاوكسجين مقدارها 19 سم^3 / 100 سم^3 من الدم (اي ان Hb يكون مشبع بالاوكسجين بنسبة 97 % عندما يكون الضغط الجزئي للاوكسجين 100 ملم . زئبق) ، وهذا يسمى بمحتوى الاوكسجين الشرياني Arterial Oxygen Continent.

ويوجد 14 سم^3 فقط من الاوكسجين في كل 100 سم^3 من الدم العائد من الانسجة خلال الاوردة الى الجانب الايمن من القلب وهو محتوى اوكسجين الدم القادم الى الرئتين في حالات الراحة (ولا زال هذا الدم يحتوي على كمية مقبولة من الاوكسجين) ، فقد هبط الضغط فيه الى 40 ملم زئبق بينما هبط المحتوى الى 70 % فقط من سعة الاوكسجين (اي الى 14 سم^3 من O2 /100 سم^3 من الدم) ، والسبب في ذلك هو ان المنحني الذي يصل بين كمية الاوكسجين المحمولة او المرتبطة بالهيموكلوبين وضغط الاوكسجين ليس خطا مستقيما بل انه منحنى على شكل حرف S وهذا يعرف بمنحنى افتراق الاوكسجين Oxyhemoglobin Dissociation Curve الذي يوضح العلاقة بين نسبة التشبع Percent Saturation وتعني المحتوى الاوكسجيني للدم والضغط الجزئي للاوكسجين .



شكل يوضح منحنى افتراق الاوكسجين

ويبين المنحنى ان الدم الخارج من الرئتين له ضغط مقداره 100 ملم زئبق ومحتوى قدره 19 سم^3 من الاوكسجين في كل 100 سم^3 من الدم في النقطة (A)، ويصل الدم الى الانسجة من دون تغير في محتواه او مقدار ضغطه لكنه عندما يمر في الشعيرات الدموية للانسجة فانه يتحرك من النقطة (A)الى النقطة (B) حيث يترك الدم الانسجة الى الاوردة بضغط جزئي للاوكسجين PO2 بمقدار 40 ملم زئبق ومحتوى اوكسجيني مقداره 14 سم ^{3} / 100سم^3 من الدم لذلك فان كل 100 سم ^{3} من الدم تفقد 5 سم^3 من الاوكسجين خلال الانسجة ، وتزداد هذه الكمية عند اجراء التمارين الرياضية (لماذا) ؟ حيث يهبط ضغط الاوكسجين في العضلات الفاعلة الى 20 ملم زئبق وتستخلص بذلك كمية من الاوكسجين من الدم اكثر مما هي عليه في حالة الراحة ، ويترك الدم العضلات الفاعلة ولونه داكن جداً (يحمل 4 سم ^{3} فقط من O2 / 100سم^3 من الدم) ولذلك تعطى كل 100 سم^3 من الدم 15 سم ^{3} من O2 الى العضلة الفاعلة .

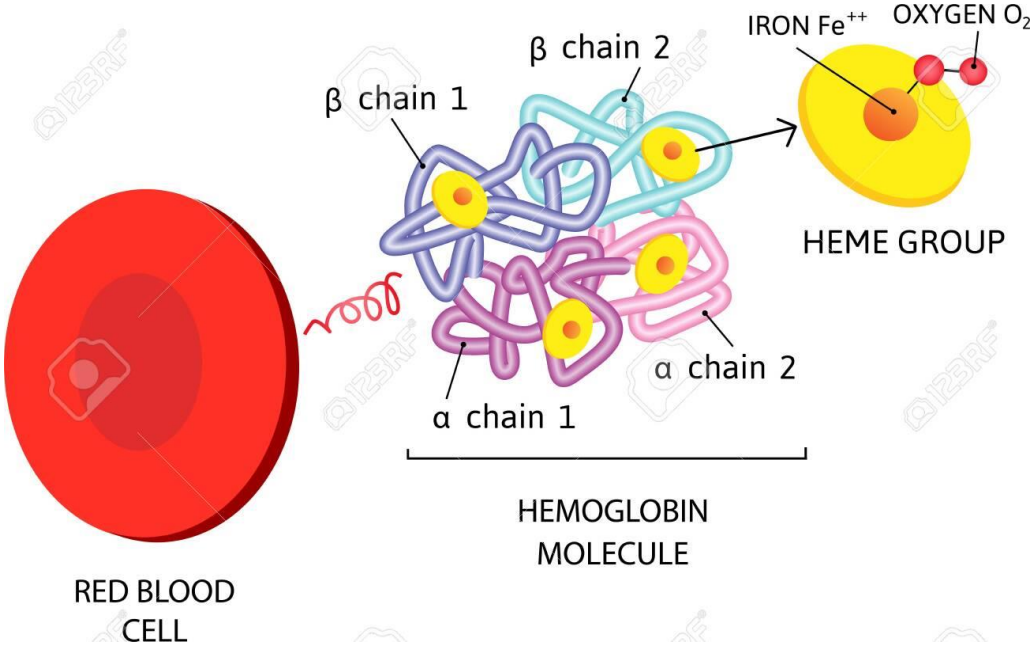


(محتوى الدم الاوكسجيني)

حالات وجود الاوكسجين في الدم :

1- ذائباً في الدم : ويمثل نسبة قليلة جداً (1-3 %) وتعادل 3 سم^3 / لتر من الدم تقريباً
2- متحداً بهيموكلوبين الدم : ويمثل الشكل الغالب (97 – 99 %) يعادل 197 سم^3 / لتر من الدم تقريباً.

ويتكون الهيموكلوبين من 4 وحدات ثانوية sub Unit ، كل واحدة منها تحتوي على جزيئة هيم Heme متصلة بسلسلة من الببتيدات المتعددة Polypeptide chain (2الفا +2 بيتا يطلق عليها globin) ، ويتركب الهيم من البورفرين البدائي Protoporphyrin وذرة حديد بهيئة حديدوز Fe^{+2} ، كل ذرة حديد ترتبط بذرتين من O2 دون ان تفقد تكافؤها (اي تبقى بصورة حديدوز) لذلك تعد عملية اخذ الهيموكلوبين للاوكسجين عملية اكسجة وليست اكسدة .



Hemoglobin Structure تركيب الهيموكلوبين

ولما كان الهيموكلوبين مكون من 4وحدات فانه سوف تتحد به 8 جزيئات من الاوكسجين مكون Hb4O8 .

$$Hb + O2 \leftrightarrow HbO2$$

$$Hb\ 4 + O2 \leftrightarrow Hb4O2 + O2 \leftrightarrow Hb4O4 + O2 \leftrightarrow Hb4O6 + O2 \leftrightarrow Hb4O8$$

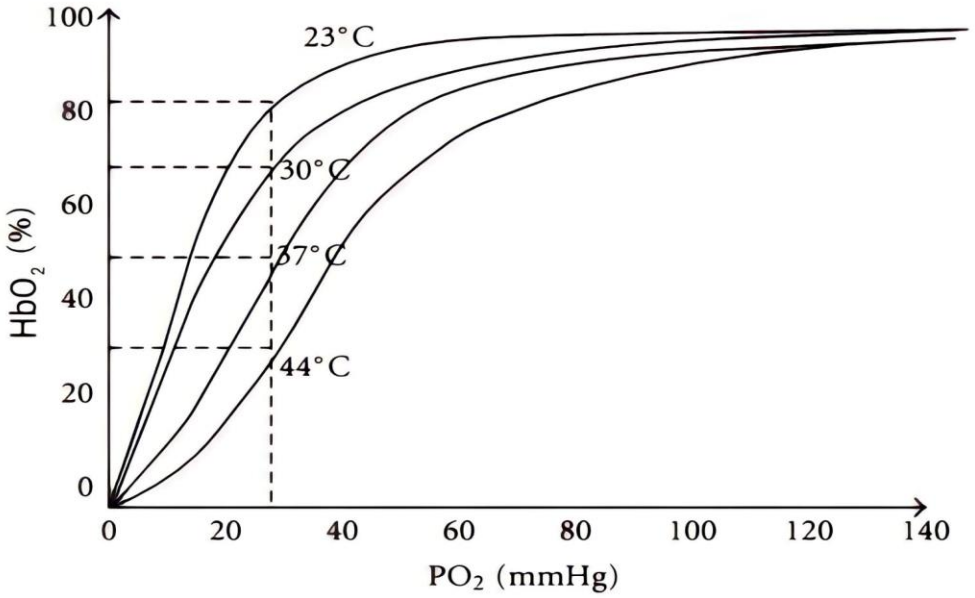
ان تاكسج اول جزيئة هيم سوف تسهل من اكسجة الوحدات الثانوية الثلاثة الباقية وهذا التفاعل يستغرق 0.01 من الثانية ونتيجة لذلك سوف يتكون مركب قلق وهو Oxyhemoglobin يعتمد مساره على الضغط الجزئي للاوكسجين PO2 ، حيث تحدث الاكسجة عندما يكون الضغط الجزئي للاوكسجين عالياً ويحصل

التحلل عندما يكون PO2 واطئاً وهنا تكمن الاهمية الفسيولوجية للهيموكلوبين فلو كون مركبا ثابتا عند اتحاده بالاوكسجين لما قام بعملية نقله وتزويد خلايا الجسم به.

العوامل التي تؤثر على قابلية نقل الدم للاوكسجين او درجة الفة الهيموكلوبين للاتحاد بالاوكسجين (تأثير بور)

1- الحرارة

يكون تاثير الحرارة مباشراً في درجة الفة الهيموكلوبين للاتحاد مع الاوكسجين وتكون العلاقة عكسية بينهما ، وهذه العلاقة مهمة من الناحية الفسلجية فعند القيام بتمارين رياضية سوف ترتفع درجة حرارة الجسم وعندئذ تقل الالفة للارتباط بين الاوكسجين والهيموكلوبين وهذا يعني تجهيز كمية من الاوكسجين اعلى لتحريرالطاقة والاستمرار بالفعاليات الحيوية ، ويحصل العكس عند التعرض للبرد الشديد لان الفة الارتباط بين الاوكسجين والهيموكلوبين سوف تزداد وبذلك لا يتحرر اوكسجين كاف للافعال الايضية التي تجري بصورة طبيعية في الاطراف وتفقد بذلك تلك الاطراف القدرة على تعويض الحرارة المفقودة منها وتنتهي الى الموت اختناقا



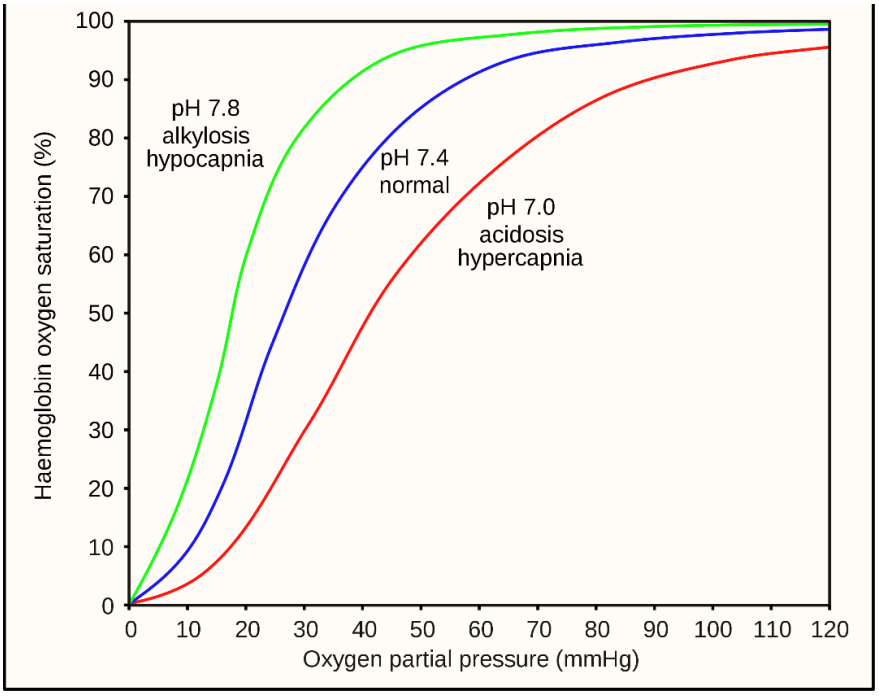
تا ثير درجة الحرارة على درجة الفة الهيموكلوبين للاتحاد بالاوكسجين

2- الضغط الجزئي لثاني اوكسيد الكاربون PCO2

تكون العلاقة عكسية بين قابلية اتحاد الهيموكلوبين بالاوكسجين ومقدار الضغط الجزئي لـ CO2 وتكمن الاهمية الفسيولوجية لهذه العلاقة في عملية طرح ثاني اوكسيد الكاربون عبر جدران الاسناخ لاكتساب الاوكسجين ويجري العكس تماماً في الانسجة .

3- الاس الهيدروجيني PH

ترتبط درجة الفة الهيموكلوبين بدرجة حامضية الدم فانخفاض الاس الهيدروجيني للدم يعني انخفاضاً في درجة الفة الهيموكلوبين للاتحاد بالاوكسجين . ويطلق على التاثيرات الثلاث السابقة تاثير بور Bohr effect .



تاثير الاس الهيدروجيني على درجة الفة الهيموكلوبين للاتحاد بالاوكسجين

نقل ثاني اوكسيد الكاربون Carbon dioxide transport

لا تقل اهمية الدم في نقل ثاني اوكسيد الكاربون عن اهميته في نقل الاوكسجين ويحتوي الدم الوريدي او الشرياني على كمية من CO_2 المذاب هي اكثر 20 مرة من الاوكسجين المذاب .

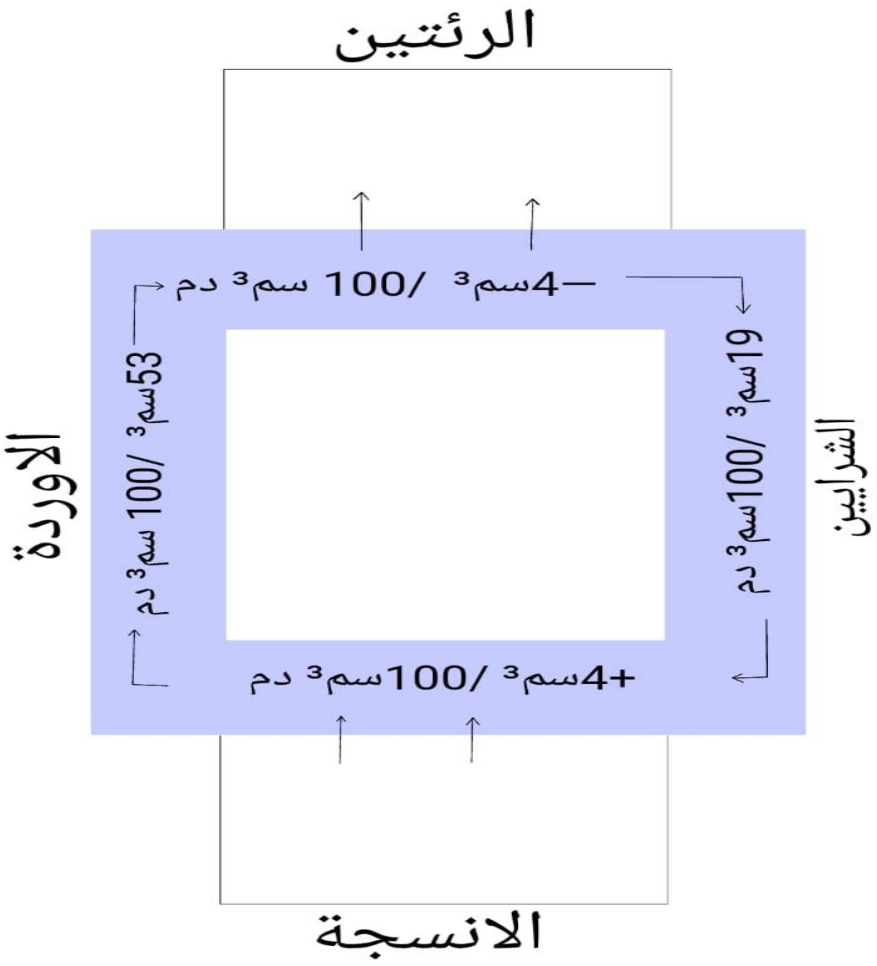
يبلغ محتوى الدم بعد تركه الرئتين على CO_2 بمقدار 49 سم^3 / 100 سم^3 من الدم وعند مروره بالشعيرات الدموية للانسجة يزداد المحتوى من CO_2 ليبلغ 53 سم ^{3} /100 سم^3 من الدم اي ان هناك زيادة في CO_2 مقدارها 4 سم^3 / 100 سم^3 من الدم الجاري خلال الانسجة .

وهناك نقطتان جديرتان بالملاحظة :

اولاً : يحتوي الدم على كمية من ثاني اوكسيد الكاربون في كل 100سم^3 اكثر بكثير مما يحتويه من الاوكسجين ، فالدم الشرياني يحتوي على 19 سم^3 من الاوكسجين في حين يحتوي على 49 سم^3 من ثاني اوكسيد الكاربون / 100 سم^3 من الدم .

ثانياً : يعطي الدم عند مروره بالرئتين كمية قليلة نسبياً من CO_2 اذ ان الدم يصل الى الرئتين بمحتوى 53 سم ^{3} من CO_2 في كل 100 سم^3 من الدم ، وعند مغادرته الرئتين يكون حاوياً على 49 سم^3 منه،

وهذا يشير الى ان CO_2 ليس مجرد منتوجاً كفضلات بل من الضروري ادامة مستوى كاف منه في الدم لقيام الجسم بوظائفه الفسيولوجية المختلفة .



التغاير في محتوى الدم من CO_2 خلال مروره بالرئتين والانسجة

ضغط ثاني اوكسيد الكاربون PCO_2

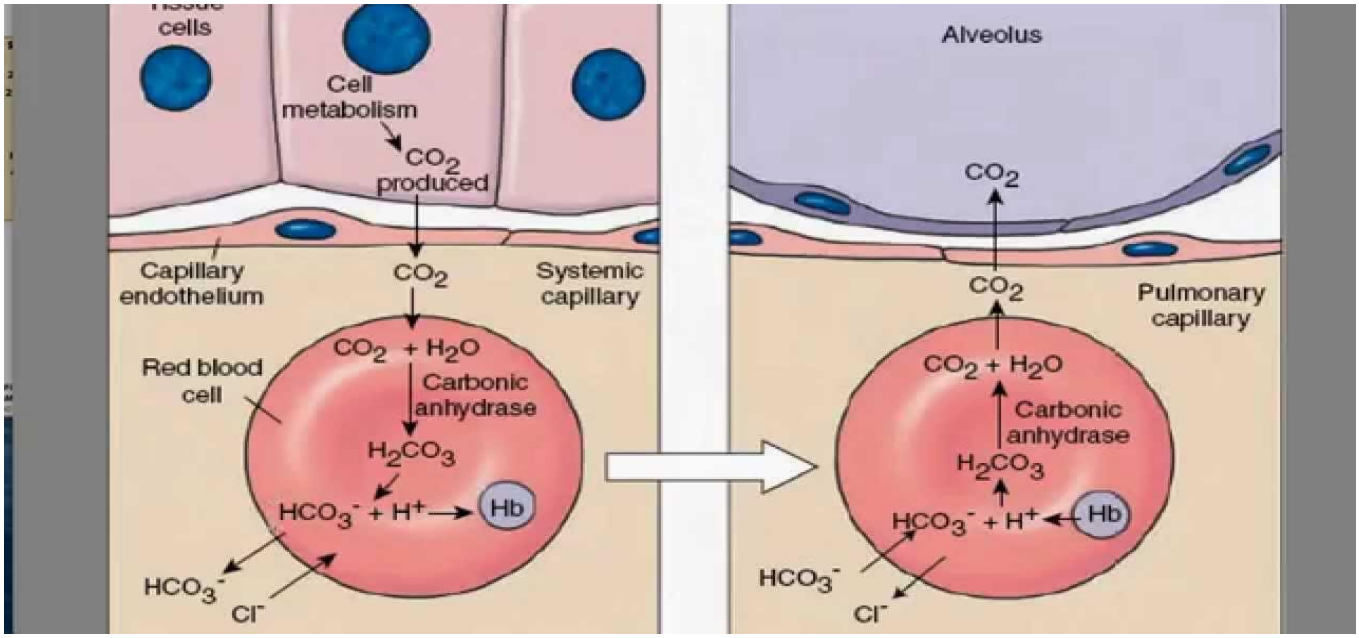
1- **يعود الدم من الانسجة الى الجانب الايمن من القلب عن طريق الاوردة ، ثم الى الرئتين بوساطة الشريان الرئوي بضغط 49 ملم زئبق ، وعند مروره خلال الشعيرات الدموية للرئتين يعبر CO_2 من الدم الى الاسناخ وذلك لارتفاع ضغطه في الدم عما هو عليه بالاسناخ فيهبط الضغط من 46 الى 40 ملم . زئبق**
2- **يعود الدم الى الجانب الايسر من القلب بوساطة الاوردة الرئوية ومن القلب يضخ الى انسجة الجسم بضغط مقداره 40 ملم زئبق ليصل الشعيرات الدموية ويبدأ بالزيادة الى 46 ملم زئبق في اثناء انتقال CO_2 من السائل النسيجي الى الدم .وتكون بذلك الدورة قد تمت فيترك CO_2 الانسجة بضغط 46 ملم زئبق .**

حالات وجود CO_2 في الدم :

1- يوجد CO_2 حراً في بلازما الدم وبنسبة 5 % تقريباً
2- يوجد CO_2 متحداً بماء البلازما (حامض الكاربونيك H_2CO_3) وبنسبة 5 % تقريباً
3- يوجد CO_2 متحدا مع الهيموكلوبين او بروتينات الدم .
حيث يتحد CO_2 مع مجموعة الامين (NH_2 –) في البروتين مكونا مركب يسمى كاربامينو البروتين المتعادل والهيموكلوبين في كريات الدم الحمر (NHCOOH) ويشكل نسبة تقدلر بـ 21% وبروتينات البلازما مكون المركب نفسه بنسبة 1 % تقريباً .

$$CO_2 + R - NH_2 \rightleftharpoons R - NHCOOH$$

4- على شكل بيكاربونات الصوديوم في البلازما وبيكاربونات البوتاسيوم في الكريات الحمر وتمثل اعلى نسبة 63 %



نقل ثاني اوكسيد الكاربون بين الدم والانسجة والاسناخ

عند التقاط CO_2 في اثناء مرور الدم خلال شعيرات الانسجة يعبر معظم CO_2 من خلال البلازما الى داخل الكريات الحمر حيث يتحول بسرعة الى حامض الكربونيك بوساطة خميرة الكاربونيك انهيدريز Carbonic Anhydrase ، ويتفاعل حمض الكربونيك المتكون مع الهيموكلوبين الذي يعطي ما عنده من اوكسجين ومكوناً البيكاربونات :

$$CO_2 + H_2O \overset{C.A}{\rightleftarrows} HCO_3 + H^+$$

$$H^+ + HbO_2 \rightleftarrows HHb + O_2 \uparrow$$

حيث تتحد شوارد الهيدروجين بالهيموكلوبين تاركة شوارد البيكاربونات السالبة تاخذ طريقها منتشرة الى البلازما ولكي لا يحصل اختلال في البناء الايوني السالب للكريات الحمر فان اي يون او شارد من ايونات البيكاربونات التي غادرت الكريات الحمر تحل محلها ايونات الكلور ولما كان الايون الرئيسي في البلازما هو الصوديوم كونت معه بيكاربونات الصوديوم وبعكسها تكون ايونات البيكاربونات داخل كريات الدم الحمر بيكاربونات البوتاسيوم .

وتنعكس العملية بكاملها عند وصول الدم الى الرئتين حيث يخرج ايون الكلوريد من الكريات الحمر الى البلازما وتذهب البيكاربونات من البلازما الى الكريات الحمرلتكون حامض الكربونيك حيث يتحطم بوساطة خميرة كاربونيك انهيدريز الى الماء وثاني اوكسيد الكاربون الذي يطرح الى البلازما ثم خلال الغشاء السنخي الى تجاويف اسناخ الرئتين.

وتدعى حركة الكلوريد الى داخل الكريات الحمر عندما يمر الدم في الانسجة والى خارجها في الرئتين بانحراف الكلوريد Chloride shift

5- يوجد CO_2 بشكل حر في سايتوبلازم الكريات الحمر وبنسبة 5 % تقريباً .

الاهمية الفسيولوجية للنيتروجين

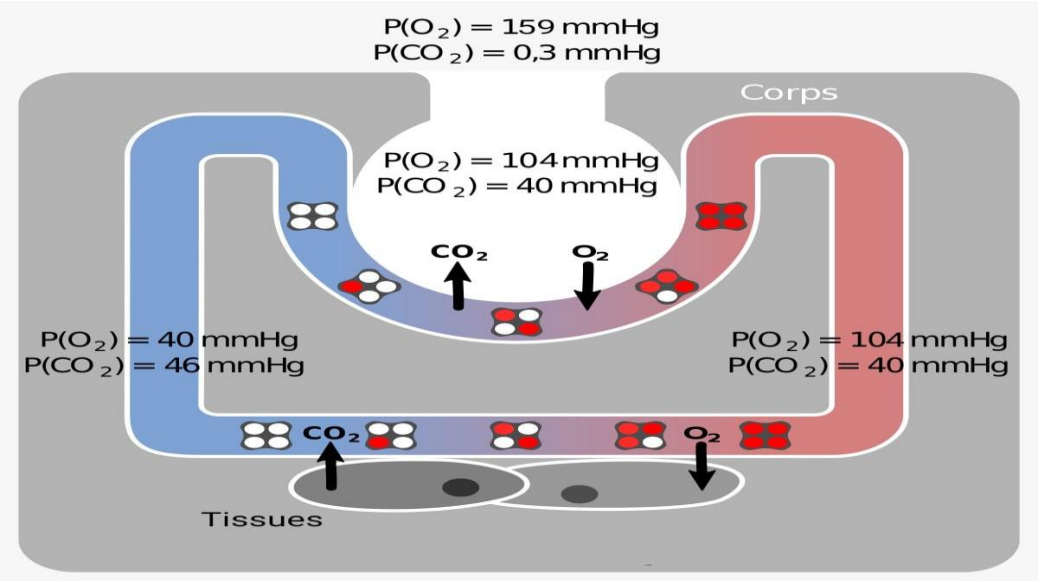
يوجد النتروجين مذاباً في ماء الدم وتظهر اهميته الفسيولوجية عندما يتعرض الكائن الحي الى انخفاض سريع في مقدار الضغط الجوي كما يحصل للطيارين عند صعودهم السريع الى اعالي الجو ويحصل للبحارين عند الصعود السريع من الاعماق الى السطح ويؤدي انخفاض الضغط المسلط على الجسم الى تحرر النتروجين الذائب في الدم مكوناً فقاعات غازية تسبب الاماًشديدة وهذا يطلق عليه مرض شلل الغواصين Diver's palsy وقد تعمل هذه الفقاعات على غلق بعض الاوعية الدموية المهمة مسببة بذلك الشلل او الموت .

تبادل الغازات

اولاً : التبادل الرئوي Pulmonary Exchange

يحدث التبادل الغازي بين هواء الاسناخ والدم المار في شبكة الشعيرات الدموية المتآخمة لها بسرعة وبشكل مستمر بالمعدل نفسه اثناء عمليتي الشهيق والزفير وهذه العملية تتم بالانتشار البسيط كما تتم هذه العملية بسرعة كبيرة جداً على الرغم من بقاء قطرة الدم سوى بضع ثواني في الرئتين ، وتعود هذه السرعة في التبادل لعدة اسباب :

1- مساحة الاسناخ كبيرة جداً قياساً بكمية الدم الوارد اليها ، حيث يرد اليها من 60 – 100 سم ^{3} من الدم / ثانية في الوقت الذي تبلغ فيه مساحتها حوالي 70 م^2
2- رقة الغشائين الفاصلين بين هواء الاسناخ والدم حيث يتم خلالهما التبادل الغازي (حوالي 0.4 مايكرون)
3- وجود فرق كبير بين ضغط غازي الاوكسجين و CO_2 على جانبي غشاء التبادل .



عملية التبادل الغازي وفرق الضغوط الجزيئية لغازي O2 وCO2 في الدم

ثانياً : التبادل النسيجي Tissue Exchange

يحصل التبادل بين دم الاوعية الدموية الشعرية المحمل بالاوكسجين وبين خلايا الانسجة ، وينتشر O2 من الدم الى الانسجة بالاعتماد على الضغط الجزئي لـ O2 وعلى محتوى الدم للاوكسجين (حيث يكون ضغط O2 في الدم اعلى من الانسجة) كذلك يتم انتشار CO2 من خلايا الانسجة الى الدم نتيجة لارتفاع ضغط CO2 الجزئي في داخل الخلايا عنه في الدم ، ويعتمد التبادل النسيجي للاوكسجين من الدم الى الانسجة على :

1- درجة نشاط النسيج وهذا يرتبط بحاجة النسيج للاوكسجين
2- ضغط الاوكسجين في النسيج
3- كمية الحوامض المضافة الى الدم

وتتحدد كمية CO2 المنتشرة من النسيج الى الدم بوساطة :

1- ضغط CO2 في النسيج
2- محتوى الدم من O2
3- درجة نشاط النسيج

وهكذا باختصار ان التبادل الغازي بين الدم والانسجة مرتبط او مسيطر عليه بحاجة هذه الانسجة وهذه الحاجة مرتبطة بالوضع الفسيولوجي للانسجة .

تنظيم التنفس Regulation of Respiration

تكون الحركات التنفسية الطبيعية لا ارادية Involuntary Movement وتتكيف من حيث المعدل والعمق تبعاً لحاجة الجسم ، وينظم التنفس بوساطة :

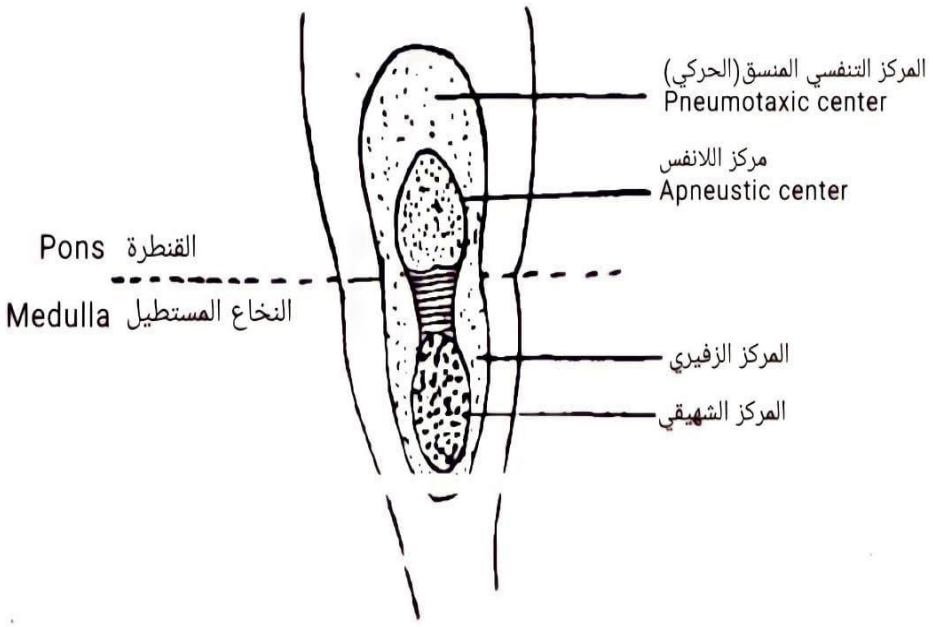
1- السيطرة العصبية Nervous Control
2- التنظيم الكيمياوي Chemical Regulation

اولاً : السيطرة العصبية على الحركات التنفسية

Nervous Control of Respiratory Movement

وتتم هذه السيطرة عن طريق المراكز التنفسية Respiratory centers الموجودة في لدماغ الخلفي Hind brain وتحديداً في القنطرة Pons والنخاع المستطيل Medulla ويوجد في هذه المراكز نوعين من الخلا يا العصبية :

1- الخلايا الشهيقية Inspiratory Center
وهي الخلايا المسؤولة عن عملية الشهيق وتتجمع لتكون المركز الشهيقي Inspiratory Center
2- الخلايا الزفيرية Expiratory Center
وهي الخلايا المسؤولة عن تنظيم عملية الزفير وتتجمع لتكون المركز الزفيري Expiratory Center ، ويقع المركزان التنفسيان الشهيقي والزفيري على جهتي النخاع المستطيل وتتجمع مجموعة ثالثة من هذه الخلايا مكونة ما يسمى بالمركز العصبي المنسق (الحركي) Pneumotaxic center الذي يقع في القنطرة .
ان عملية التنفس هي نتيجة لتعاقب عمليتي الشهيق والزفير بشكل ذاتي وايقاعي منتظم .

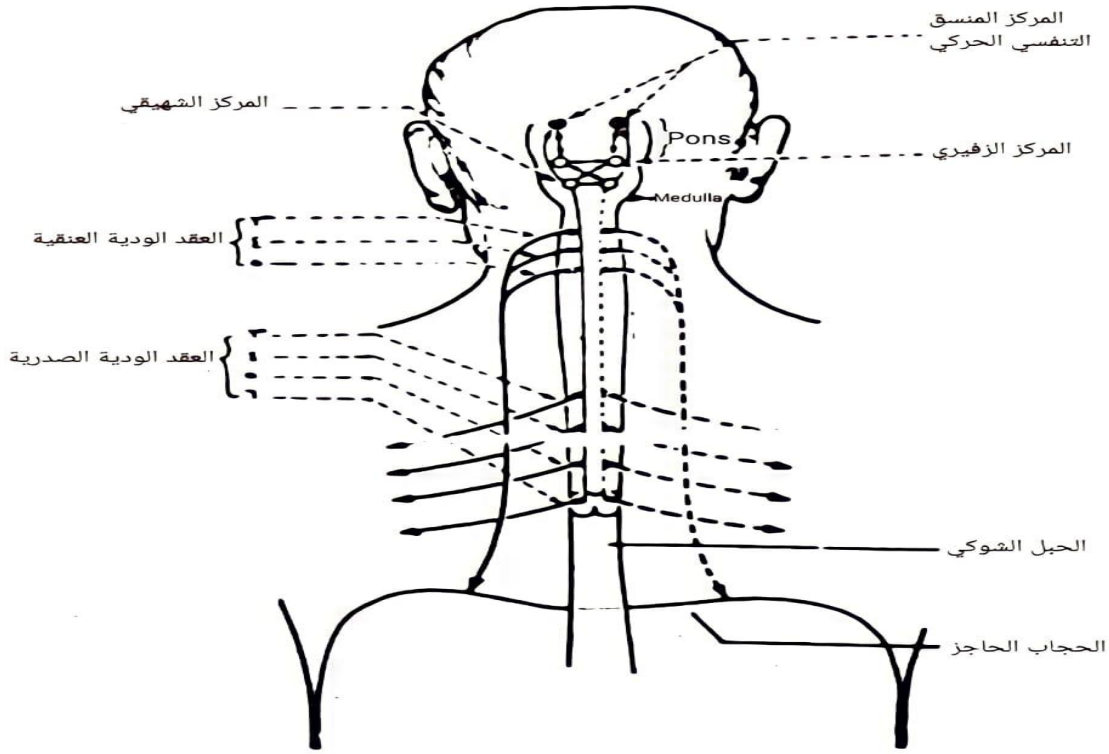


(المراكز التنفسية في ساق الدماغ)

تتسلسل الحوادث في الدورة التنفسية الواحدة بما يأتي :

1- يرسل المركز المنسق Pneumotaxic center باستمرار سيالات عصبية الى المركز الشهيقي الذي يرسل بدوره مجموعة من السيالات العصبية الى العقد الودية او السمبثاوية العنقية Cervical ganglion الثلاث ومنها بوساطة العصبين الحجابين Phrenic nerve اللذين ينشأن من الاعصاب الشوكية العنقية 3 و4 و5 ويمتد كل منهما الى القفص الصدري ليدخل الحجاب الحاجز Diaphragm ، وسيالات عصبية اخرى الى العضلات بين الاضلاع Intercostal muscles بوساطة الاعصاب ما بين الاضلاع التي تنشأ من العقد السمبثاوية الصدرية 3 و4 و5 و6 ، وتسبب هذه السيالات تقلصاً في العضلات التنفسية (عضلات الحجاب الحاجز وعضلات مابين الاضلاع) وبذلك يزداد حجم القفص الصدري فيدخل الهواء الى الرئتين في حالة الشهيق .

2- وعندما تصل عملية الشهيق الى اقصاها بازدياد التنفس سوف يرسل المركز الشهيقي سيالات عصبية الى المركز المنسق الذي يقوم بارسال نوعين من الاوامر الاول الى المركز الشهيقي لغرض تثبيطه والثاني الى المركز الزفيري لغرض تنشيطه ونتيجة لذلك سوف تصل سيالات عصبية الى العضلات التنفسية فتؤدي الى استرخاءها وتمددها فيضيق حجم القفص الصدري ويخرج الهواء من الرئتين خلال عملية الزفير .



مخطط لمواقع الخلايا العصبية التي تكون المراكز التنفسية وعلاقتها بالعقد الذاتية الودية والاعصاب الممتدة منها

ثانياً : التنظيم الكيمياوي للتنفس Chemical regulation of Respiratory : ويتم بطريقتين هما

1- التاثيرات المباشر على المراكز التنفسية

- **يتأثر نشاط المراكز التنفسية بكيميائية ودرجة حرارة الدم المار بها ، وبالتغير الحاصل في محتوى الدم من CO_2 بالدرجة الاولى .**
- **فزيادة كمية CO_2 في الدم او زيادة الحموضة Acidity تحفز الخلايا العصبية في المراكز التنفسية وبذلك يزداد عمق ومعدل التنفس ، ونقصان CO_2 يسبب خمولاً في المراكز التنفسية وبذلك ينتج ما يسمى بالتنفس السطحي لذلك تسرع زيادة حرارة الدم التنفس لكن لا تعمقه بينما يسبب انخفاض الحرارة بطئ في عملية التنفس .**
- **ان التنفس الاعتيادي يتاثر قليلاً بالتغير الجزئي لكمية O_2 في الدم ، لكن النقص الحاد بالاوكسجين يخمل المراكز التنفسية في حين ان النقص الحاد جداً يسبب توقف التنفس.**

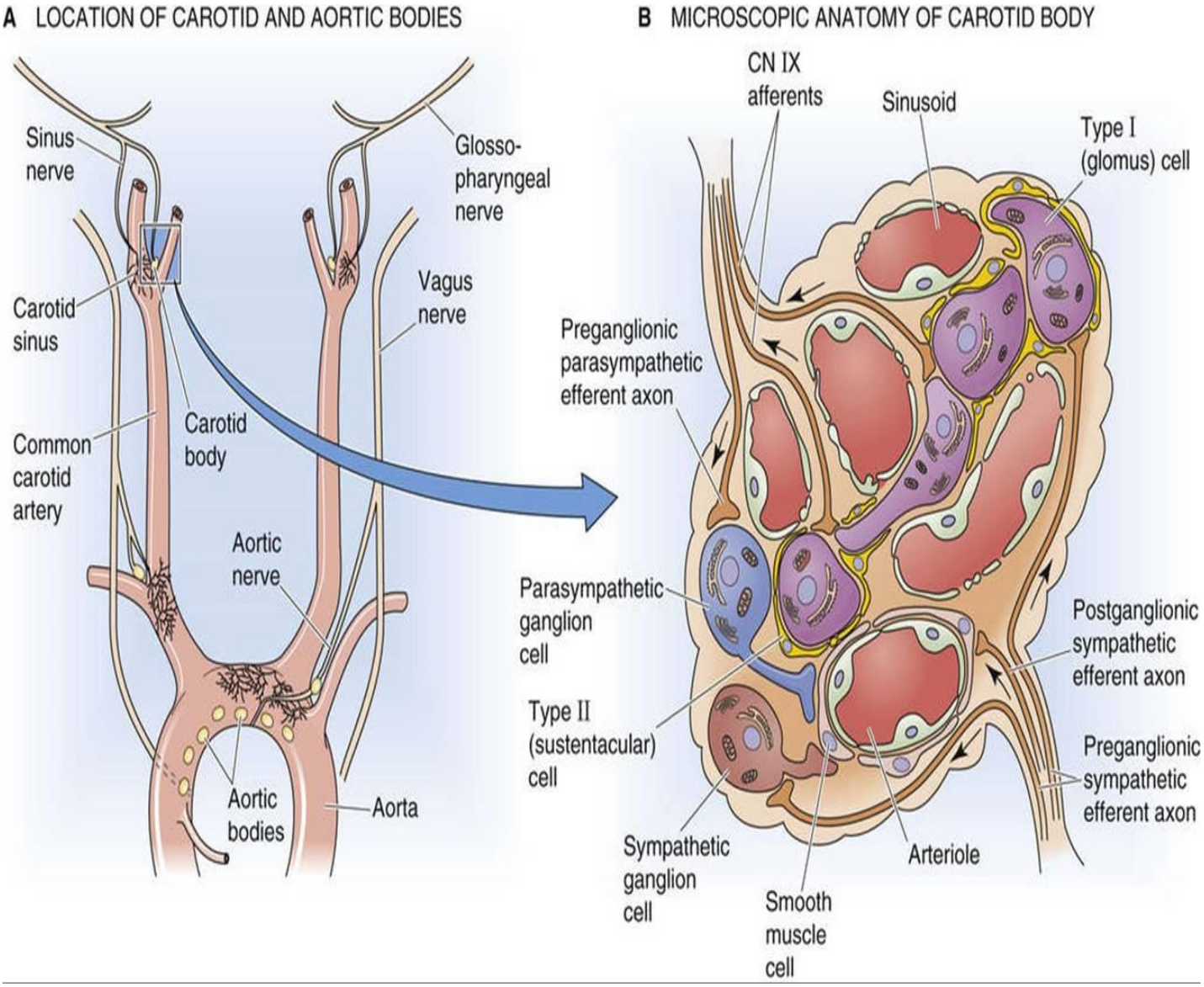
1- التاثيرات غير المباشرة على المراكز التنفسية بواسطة الانعكاسات الكيمياوية

Indirect effect by means of chemo-reflexes

تتحفز المستقبلات الكيميائية Chemoreceptors بقلة O_2 في الدم التي يصاحبها زيادة في كمية CO_2 ، وتوجد هذه المستقبلات في الجسمين السباتين Carotid bodies الواقعين بين تفرع كل من الشريانين السباتين Carotid arteries وتوجد ايضا في الجسمين الابهريين Aortic bodies الواقعين على تفرعي القوس الابهري Aortic Arch .

وعندما تتحسس هذه المستقبلات لهذا التغير سوف ترسل سيالات عصبية الى الاعصاب القحفية 9 و 10 Cranial nerve ثم الى المركز التنفسي الشهيقي ومنه تخرج سيالات عصبية الى عضلات التنفس لتعطيها انعكاسا محفزاً للتنفس .

ان زيادة كمية CO_2 في الدم فقط من دون نقصان O_2 لها تاثير بسيط جداً على المستلمات الكيميائية ، لذلك فان العوامل المؤثرة في المستلمات الكيميائية هي قلة O_2 وزيادة CO_2 وانخفاض الاس الهيدروجيني PH الدم (يصبح حامضي بسبب زيادة CO_2 في الدم).


A LOCATION OF CAROTID AND AORTIC BODIES
Sinus nerve
Glosso-pharyngeal nerve
Carotid sinus
Vagus nerve
Carotid body
Common carotid artery
Aortic nerve
Aortic bodies
Aorta
B MICROSCOPIC ANATOMY OF CAROTID BODY
CN IX afferents
Sinusoid
Type I (glomus) cell
Preganglionic parasympathetic efferent axon
Parasympathetic ganglion cell
Postganglionic sympathetic efferent axon
Type II (sustentacular) cell
Preganglionic sympathetic efferent axon
Sympathetic ganglion cell
Arteriole
Smooth muscle cell