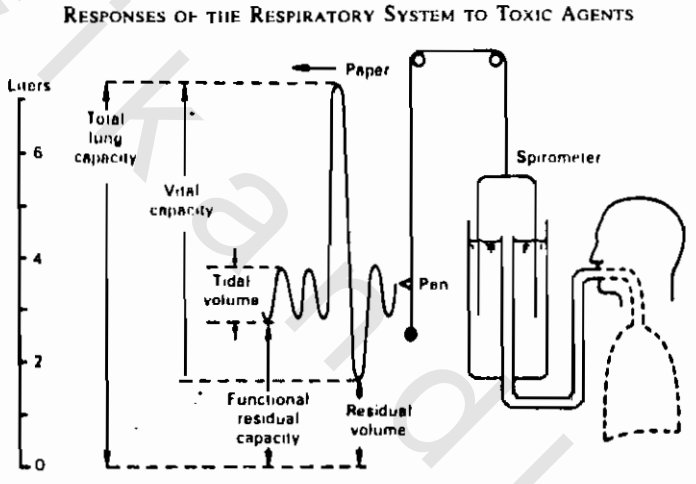
الباب الثانى

عملية التنفس (التبادل الغازى)

obeikandl.com

obeikandl.com

يمثل الشكل التالى رقم (٢-١) نموذج مبسط يوضح النمـــط الطبيعـــى للتنفس أثناء فترة الراحة لتوزيع الأحجام والمساحات بالرئة ودورها فى عمليـة التنفس حيث التغيير فى الحجم ومعدل التدفق والذى يتم قياسه بالاســـبيروميتر (Spirometer) فعند التنفس فان حجم صغير من الرئة يحدث لذا عمليـــة تهويـــة وهو ما يسمى بحجم تيدال (Tiadal) :



شكل رقم (٢-١) : رسم تخطيطي يوضح الحجوم التفصيلية لنمط التنفس الطبيعي

حجم تيدال لحجم هواء مستنشق قدره ٥٠٠ ملل خلال دقيقة (١٥ مرة / د)
= ١٥ × ٥٠٠ = ٧٥٠٠ ملل / د

ويعد أقصى زفير يتبقى بالرئة حجم قدره ١٥٠ ملل ويســـمى بـــالحجم المتبقى (Residual volume) و يسمى الفرق بين عدم وجود غاز بالرئة وأدنى

حجم لتيدال بالسعة الوظيفية للمتبقى (Functional residual capacity) .

أما حجم الغاز الطازج الذى يمكن تبادله بالحويصلات

= حجم تيدال(٥٠٠)-الحجم المتبقى[(١٥٠) ×١٥ مرة /د]

= ٥٠٠ - (١٥٠ × ١٥) = ٥٢٥٠ ملل / د

وبما أن معدل التدفق الدموى للرئة / د = ٥٠٠٠ ملل .

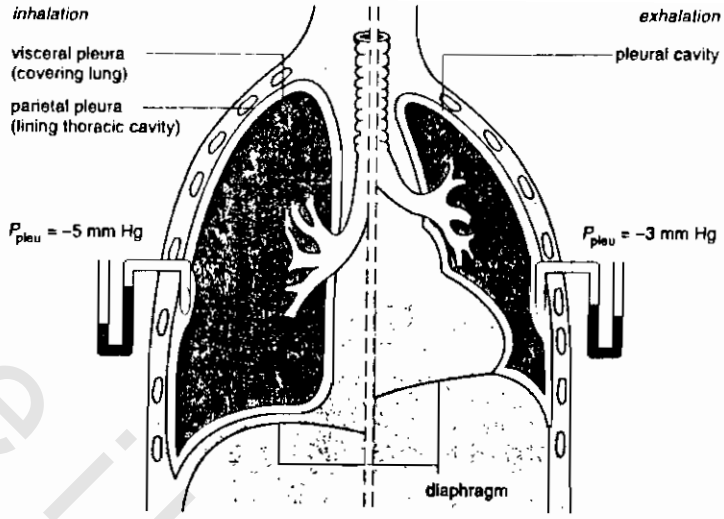
.: حجم الغاز المتبادل (التهوية الحويصلية) = حجم الدم الذى يملأ الحويصلات .

أى أن كمية الملوثات الغازيه السامة والداخلة للرئة (Delivered) دالة لتركيزه فى الغاز والحجم بالدقيقة وهو ما يوضح أهمية التكأفؤ فى حجم الدم المار بالرئة والتهوية الحويصلية والتى لها أهميتها فى تحقيق تبادل سليم للغازات وأكسجين الدم .

ويكون ضغط هواء الحويصلات مساوى للضغط الجوى (٧٦٠ ملم ز) جدول رقم (٢-١) و طبقاً لقانون دالتون فان الضغط الكلى لمخلوط الغازات يساوى مجموع الضغوط الجزيئية لكل مكون على على حده من مكونات الهواء الجوى على درجة حرارة ٣٧ م وهواء مشبع ببخار الماء :

جدول رقم (٢-١) : قيمة الضغوض الجزيئيه لغازات الهواء الجوى :

الضغط الجزئى	للأكسيجين	لثانى أكسيد الكربون	للنيتروجين	للماء	المجموع الكلى ملم ز
في الهواء	١٥٨	٠,٣	٥٩٧	٣,٧	٧٦٠
في الحويصلات	١٠١,٢	٤٠	٥٧١,٨	٤٧	٧٦٠



شكل رقم (٢-٢) : القوى المرنه فى الرئتين خلال عمليتى الشهيق و الزفير (**تشير الأسهم لأتجاه عمل القوى والتى تعطى زياده فى الضغط السلبى -ضغط بين البللورا فى التجويف البللورى (Interapleural pressure بالنسبه للضغط خارج الجسم**)

وبما أن الحجوم المتساوية ، شكل رقم (٢-٢) من الغـــازات تحتـــوى على أعداد متساوية من الجزئيات (مول = ٢٢,٤).

∴ الجزء المولى للغاز بالمخلوط (α) حجمه الجزيئى (V) أو ضغطه (P)
= ضغط الغاز / الضغط الكلى × حجم الغاز = الحجم الكلى

وينص قانون هنرى على أن تركيز الغاز بمحلول طبيعى (α) مـــع ضغط الجزيئى

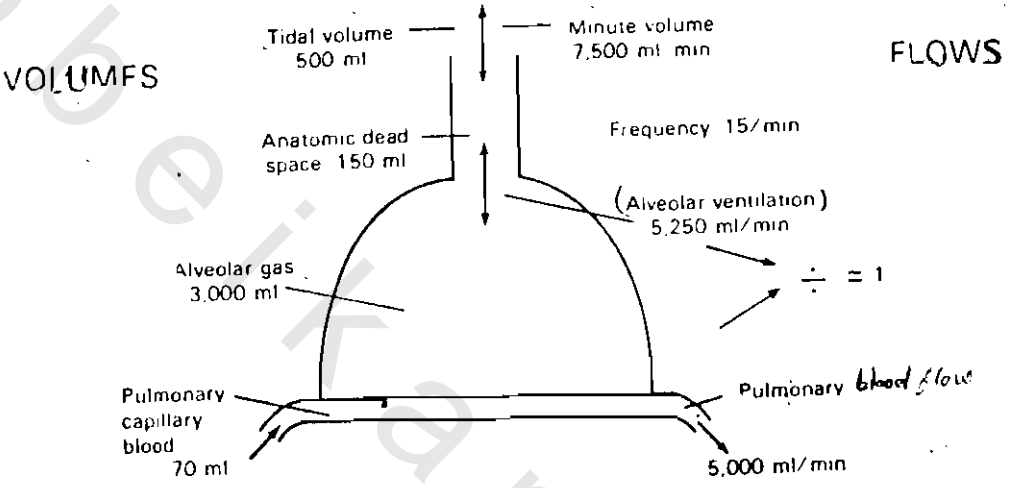
∴ تركيز الغاز = الضغط (p) X حجمه (v) X (α) (معامل الذوبان)

نسبة الاكسيجين الذائب بالبلازما/٣٧ °م (α) =٠,٠٢٣× ضغط واحد جوى

$P\ O_2 \times$ ٠,٠٢٣=

٧٦٠/١٠١,٢ × ٠,٠٢٣=

٠,٠٠٢٣= ملل



شكل رقم (٢-٣): رسم تخطيطي يبين التدفق والحجم / دقيقة وحجم تيدال و التهوية الحويصلية وحجم المنطقة الميتة

أى أن كل ١٠٠ ملل بلازما يحمل ٠,٣١ ملل أكسيجين مذاب لا تكفى لسد أحتياجات الجسم ، (١٥ جم هيموجلوبين /١٠٠ ملل) .

ويقوم الهيموجلوبين بنقل (نشر) الأكسيجين المذاب من البلازما الى داخل كرات الدم الحمراء حيث يرتبط به الهيمو جلوبين (Hb) وهو ما يسمى بأكسجنة الهيموجلوبين : أوكسى هيموجلوبين (Oxyhaemoglobine) :

$$O_2 + Hb \longleftrightarrow HbO_2$$

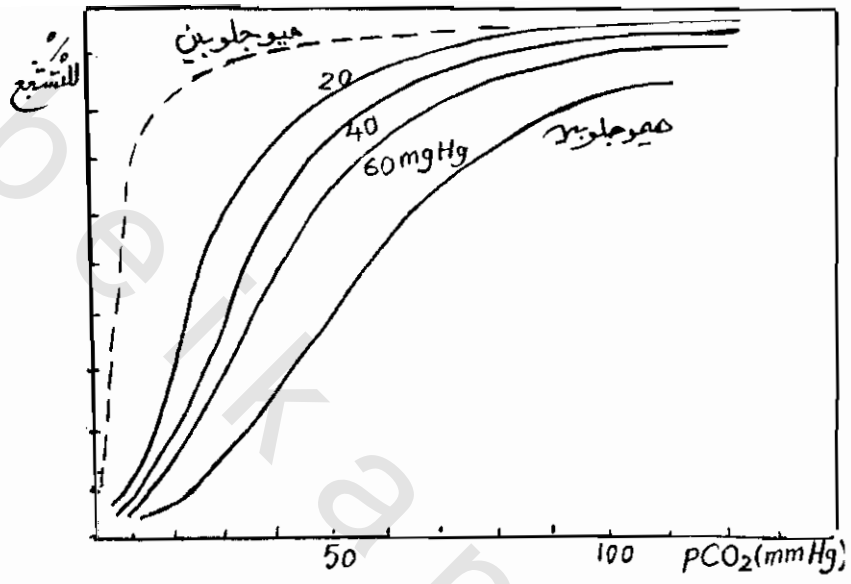
وعكس هذه العملية هو ما يسمى بأختزال الهيموجلوبين : نزع الأكسيجين :ديأكسى هيموجلوبين (Deoxyhacmoglobine) حيث يتحد جزيئى الـــهيموجلوبين (٦٧,٠٠٠ دالتون) مع أربعة جزئيات اكسجين .

ويحمل ١٥ جم هيموجلوبين / ١٠٠ ملل كرات دم حمراء حوالى ٢٠ ملـــل أكسيجين مذاب أى أكثر كثيراً من ٠,٣١ ملل أكسيجين مذاب حيـــث يعتمـــد تشبع الهيموجلوبين بالأكسيجين على الضغط الجزيئى للاكسيجين وهو بعكـــس منحى التشـــبع الزائـــد المقطـــع (Hyperbolic curve) الخـــاص بـــالميوجلوبين (Myoglobine : Mb) المرتبط به الأكسيجين بالعضلات .

فالاتصال بين مجاميع الهيم بالهيموجلوبين يجعل أرتباط جزئيات أضافيـــة من الاكسيجين بصورة سهلة ومتعادلة فى حين تكون قوة أذابـــــة الاكســـيجين للميوجلوبين MbO_2 أكبر من الهيموجلوبين و يبلغ الضغط الجزئى للأكســـيجين (pO_{30}) للميوجلوبين =١ و الهيموجلوبين ٢٦ مللم ز وتجـــذب أيضـــاً أنزيـــم السيتوكروم أكسيديز نحو الأكسيجين حيث يعمل ميوجلوبين العضـــلات عنـــد الانسان بشكل ناقل رئيسى من خلال أنتشار الأكسيجين من الأغشية الوعائيـــة الدموية الى العضلات (خاصة العضلة القلبية) .

وينحرف منحى التشبع(O_2Hb) ، شكل رقم (٢-٤) لأسفل ولليمين عند زيادة الضغط الجزيئى لثانى أكســـيد الكربـــون ($p\ CO_2$) وتركـــيز أيونـــات الهيدروجين [H^+] أو
أرتفاع الحرارة أو تركيز مركب : ٢.٣ -داى فوسفو جليسرات (2.3-DPG) وتكون النتيجة قلة ميل الهيموجلوبين نحو الأكسيجين وزيادة نمو أيونات الهيدروجين: (H^+) وهوما يسمى بتأثير بور: (Bohr Effect) وهـــذا التســـهيل يسهل تحرر الاكسيجين وأطلاقه بالأنسجة حيث تكون مستويات ثـــانى أكســـيد الكربون وأيونات الهيدروجين عالية بسبب النشاط الأيضى للأنسجة ويحـــــدث عكس هذا بالرئيتين حيث يؤدى الضغط الجزئيى المرتفع للاكســـيجين لآزالـــة أيونات الهيدروجين وثانى أكسيد الكربون ويسمى بتأثير هالدان (Haldane).

وترتبط الجليسريدات ثنائية الفوسفات بالـــــهيموجلوبين وتقلـــل ميلـــه للإنجذاب نحو الأكسيجين حيث ينظم مستوى الجليسريدات ثنائيـــة الفوســـفات (٤,٥ملليمول) بكرات الدم الحمراء بواسطة الضغط الجزيئى للأكسيجين الهواء



شكل رقم (٢-٤) : منحنيات التشبع بالأكسيجين للميوجلوبين و الهيموجلوبين تحت ضغوط جزيئيه

و لهذا يلاحظ بالمناطق المرتفعة زيادة مستويات ٢و٣-فوسفوجليسرات فتسمح للهيموجلوبين بأطلاق الاكسجين بسهولة أكثر .

فى حين تتم عملية التنفس فى اللافقاريات كالحشرات خلال القصبات الهوائيه (Trachea) و المنتشره خلال الجسم حيث تتفرع الى قصبات (Tracheoles) تدل إليها تفرعات الأعصاب وتفتح للخارج بالثغور التنفسيه و الموجوده فى صورة أزواج بكل حلقه من حلقات الجسم أو قد يوجد زوج

أو زوجين بطول الجسم و تدعم هذه الثغور بصمامات تعمل على قفل و فتح الثغور و فى قليل من الحشرات تتم عملية التنفس خلال الجليد.

ولا تتمكن جزيئات الملوثات البيئيه و السموم والتى بصورة محاليل ذات توتر سطحى عالى من الدخول لهذه القصبات ، بينما تدخلها المحاليل الزيتيه (المحاليل المحبه للدهون) أو المحاليل المائيه المبلله Wetting aquous solutions) (ذات التوتر السطحى المنخفض حيث زاوية التماس (Contact angle) بها أقل من ٩٠ ° لقدرتها على الأنتشار خلال القصبه الهوائيه ، فالزيوت البترولية ذات اللزوجه المنخفضه : ٣٩ داين /سم تكون جيده البلل و الحركه فى حين أوليات الصوديوم ذات محلول تركيزه ١% (٢٩ داين /سم) تكون أكثر من جيده ، كذلك تزداد درجة التخلل بنفس درجة اللزوجه فتزداد النفاذيه فى الزيوت الخفيفه كالكيروسين و تقل بالزيوت متوسطة اللزوجه بينما تكاد تنعدم مع الزيوت العاليه كزيت الخروع (Castor bean oil) .

وليس المهم هنا هو سرعة تخلل جزيئات محلول المركب للقصبات الهوائيه و لكن الأكثر أهميه هو فترة بقاؤه بها ، فكلما طال زمن بقاؤه بها أظهرت أستجابه أكثر ، فالكيروسين يمتاز بسرعة تخلله كما سبق لإنخفاض درجة لزوجته إلا أنه يدفع ثانية للخارج بالحركات التنفسيه فيتبخر . ولهذا فالزيوت المتوسطه كذيت بذرة الكتان و زيت بذرة القطن لها القدره على التخلل و البقاء معا داخل القصبات .

كذلك تتناسب سرعة التخلل طرديا مع قطر القصبات حيث يتخلل زيت التربنتينا الى مسافه معينه ثم تقف حركته لدقة قطر القصبات . أيضا فجزيئات الملوثات البيئية و السموم القابله للبخر تظهر تأثيرا سريعا خاصة مع الجزيئات الموجوده فى حاله غازيه .

أما جزيئات الملوثات البيئيه و السموم السائله فتدخل الفتحات التنفسيه ويتحكم فى درجة تخللها خواصها الطبيعيه مثل درجة التوتر السطحى و اللزوجه . كذلك تتفاوت بعض أنواع الأفات من حيث درجة التخلل خلال الجهاز التنفسى لها لدخول جزيئات بعض أنواع الملوثات البيئيه و السموم كالذباب و المن وهى أكثر من نحل العسل ذو الثغور التنفسيه ذات جهاز القفل الجيد .