وَقُل رَّبِّ زِدْنِي عِلْمًا

النادي الطبي

RESPIRATORY SYSTEM

HAYAT BATCH

SUBJECT : Physiology

LEC NO. : 6

DONE BY : Mohammed Ababneh

http://www.medclubhu.weebly.com/

Pulmonary Gas Diffusion

Physical principles of gas exchange

Dr. Waleed R. Ezzat

Lecture Objectives:

1. Review Dalton's law & Henry's law and understand their application to partial pressure of gasses in airways and blood.
2. Identify the values of PO_2 and PCO_2 in inspired air, alveolar air, and expired air. And identify the PO_2 and PCO_2 of arterial and venous blood.
3. Discuss and describe the diffusion of O_2 and CO_2 through the alveolar capillary membrane and list the factors affecting the rate of gas diffusion (Fick's law of diffusion).
4. Distinguish between perfusion limitation and diffusion limitation of gas transfer in the lung.
5. Define oxygen diffusing capacity and describe the rationale and technique for the use of carbon monoxide to determine diffusing capacity.
6. List main causes leading to decreased diffusion capacity of the lung.

Physics of Gas Diffusion and Gas Partial Pressures:

سلايد ما بستاهل التفريغ 🤓

كل الغازات من ال alveoli الى الدم تنتقل بهذه الطريقه والعكس

1. The Simple diffusion of a gas occurs from the high-concentration area toward the low-concentration area (i.e. it follows the concentration gradient). In a mixture of gases the rate of diffusion of each gas in the mixture is directly proportional to the **partial pressure** of that gas.

الانتقال يكون من المنطقة ذات الضغط العالي الى المنطقة ذات الضغط الواطي

لما نكتب ضغط الغاز بال physiology سواء بالحالة الغازية او الذائب بالبلازما نحط قبل اسم الغاز P، اذا بدنا نحدد المكان بنحط حرف ثاني بعد الP

مثلاً اذا A تمثل ال alveoli واذا a تمثل ال artery

2. The partial pressures of individual gases in a mixture are designated by the symbols PO_2, PCO_2, PN_2, PHe, and so forth. The same symbols are used to describe the partial pressure of dissolved gases.

عبر قانون Dalton بنعرف ضغط كل غاز عبر نسبة الغاز والضغط الجوي فإذا كان الضغط الجوي 760 mmHg ومن نسبة ال o2ال هي 21 نضربهم يطلع ال partial pressure وهيك الغازات الباقيه

* ضغط الغاز في ال alveoli وال artery هو نفسه بسبب انه الغاز ينتقل بسرعة بال diffusion بوقف الانتقال لما يصير الضغط بالجنبين متساوي والانتقال سريع فلما يطلع الدم من ال lung يكون الانتقال تم بشكل كامل

Physics of Gas Diffusion and Gas Partial Pressures (cont.):

مقدار ما يذوب من جزيئات الغاز في الماء تعتمد على قابلية ذوبان هذا الغاز

3. The number of dissolved molecules of a gas depends on the **solubility coefficient** of that gas. A gas with high water solubility, like CO_2, large number of molecules can be dissolved without building up excess partial pressure within the solution. Conversely, in the case of molecules with low solubility, like O_2, high partial pressure will develop with fewer dissolved molecules (**Henry's law**).

يعني كمية كبيرة من جزيئات الco2 رح تذوب بالماء بدون ما يتولد ضغط عالي في الماء لهذا رح نشوف انه ضغط الco2 بالبلازما 40 وهو نفسه بال alveoli

رح يتولد ضغط عالي للo2 بالماء لانه جزيئات كثيرة مش ذايبه وهذا ما قصده Henry

$$Partial\ pressure = \frac{Concentration\ of\ dissolvrd\ gas}{Solubility\ coefficient}$$

نقصد به انه كم cm3 من الغاز ذاب في cm3 من الماء وليس غرام لكل مول

قابلية الذوبان لهذا الـ PO_2 عالي لانه قابلية ذوبان الـ O_2 قليلة

The concentration is expressed in volume of gas dissolved in each volume of water.

قابليه ذوبان الco2 في الماء عالية ←

و قابلية ذوبان الأكسجين في الماء قليلة

زي سكر ذاب بالماء يعني تبقى جزيئات الماء هي هي وتبقى جزيئات ال co2 برضو هي هي ولا يحصل تفاعل بينهم
رح نوخذ بعدين انو بصير تفاعل بينهم بس مش مهم هسا بس فكرة بسيطه الي بصير انه لما يكون في انزيم ال carbon Anhydrase يخلي الجزيئات تتحد وتشكل مركب حمض الكاربونيك

The solubility coefficients for important respiratory gases at body temperature

Oxygen	0.024
Carbon dioxide	0.57
Carbon monoxide	0.018
Nitrogen	0.012
Helium	0.008

لاحظ الارقام
واذهب للشرح بالاسفل

رح يترتب عليه انه الco2 الي بنتج من الجسم لما يخرج من الخلية يذوب مباشرة في البلازما وينتقل ال الlung ذائب

Note: CO_2 is more than 20 times as soluble as O_2

يعني قابليته تعادل ٢٠ ضعف الـ O_2

لكن الاكسجين قليل الذوبان فلما ينتقل الى الدم ما بذوب في البلازما لهذا الله تعالى خلق الRBCs الي تحتوي haemoglobin هذا ال haemoglobin هو ناقل ال O2 (معلومة بديهية)

لاحظ انه ال co قريب لل o2 لتقارب الرقمين كل بحوث الدراسة التى تجرى على عبور الاكسجين لل membrane هي بالحقيقه تجرى عل على اول اكسيد الكاربون يعني بنوخذ النتائج من الCO وبنعتمدها على الاكسجين طيب ليش؟؟
مهو عشان تعرف كم بعبر بالدقيقة او بالثانية من ال alveoli ال الدم لازم تعرف الضغط بال alveoli قديش وبالدم بنفس اللحظة كم وتوخذ الفرق الي هوgradient عشان تحسب كم عبر ، وقياس تركيز الاكسجين في الRBCs عند ال alveoli صعب جدًا لهذا يستخدم الCO لانه بعبر ال membrane بسهولة جدًا لكن لما يوصل جهة الدم يربط نفسة بال haemoglobin بشدة لانه ال affinity اله عالية ولا يبقى به شيء في الدم فلما نيجي نفحص الدم لن نجد فيه اي CO في البلازما فلما بدنا نقيس ال gradient رح يكون الي موجود في ال alveoli ناقص صفر لانه تركيز ال CO بالبلازما صفر ؛ لذلك تركيز ال CO في ال alveoli هو نفسة ال gradient

طبعاً يستخدمون كمية قليلة جدًا من ال CO عشان ما يصير تسمم ←—— الي بهمه الطريقه الحساب بنحط الغاز بالي يتنفسه الشخص ويحبس الهواء في صدره على ما لا يزيد عن 10 ثوان ثم يجمع الباقي من الي تنفسه بكيس عشان يعرفوا كم الجسم استهلك

الي يطلع نستعمله مع ال O2 مع تصحيح بسيط نضرب الي طلع من ال CO ب factor صغير عشان يصير لل O2 بسبب الفرق البسيط بالارقام

Physics of Gas Diffusion and Gas Partial Pressures (cont.):

4. In the alveolus, the direction of diffusion of a gas is determined by the difference of the partial pressures of that gas across the alveolar membrane. For the O_2, it diffuses and dissolves into the blood as its partial pressure is greater in the alveolar air. Alternatively, the net diffusion of CO_2 occurs toward the alveolar air as its partial pressure is greater in the dissolved state in the blood.

كم تركيز ال O2 في venous blood يعني الدم الي جاي للlung اذا كان بال alveoli هو 100 رح يكون في ال 40 vein
ال gradient هو 60 فينتقل الاكسجين من ال alveoli الى الدم ،اما ال co2 بالدم 46 وبال alveoli هو 40 فينتقل من الدم لل alveoli لاحظ انه
ال gradient تبع ال o2 عشر اضعاف لل co2

5. At normal body temperature, 37°C, the partial pressure of water vapor in the alveolar gas mixture is 47 mmHg. It is designated as PH_2O.

مكررة من المحاضرات السابقة : الضغط بال alveoli يقل لل o2 لوجود
بخار الماء وهذا بخار الماء في حرارة الجسم يحتل قيمة هي 47

Physical factors affecting the rate of gas diffusion (Fick's law)

القانون الذي يحدد ال diffusion

كم ml من الغاز يعبر الـ membrane في وحدة الزمن

1. The partial pressure difference (direct relationship)

زي ما شرحنا انه كلما زاد فرق الضغط بزيد كمية الانتقال

2. The solubility of the gas in the fluid (direct relationship). The greater the solubility of the gas, the greater the number of molecules available to diffuse for any given partial pressure difference.

الهواء موجود في ال alveoli فالغاز موجود فيها ، قبل ما يوصل جدار ال alveoli لازم يذوب اولا في الماء المبطن لل alveoli فالي يذوب اكثر يعني يعني جزيئات ذابت اكثر ووصلت الغشاء وعبرت اكثر والعكس

المساحة السطحية طبعاً طردية لكن بالامراض زي الـ emphysema بتقل المساحة السطحية فكمية ما يعبر من الاكسجين تقل

3. The cross-sectional area of the fluid or surface area of the respiratory membrane (direct relationship). The greater the cross-sectional or surface area of the diffusion pathway, the greater the total number of molecules that diffuse decreases. Emphysema and removal of an entire lung decreases the total surface area of the respiratory membrane.

4. The distance through which the gas must diffuse (inverse relationship). The greater the distance the molecules must diffuse, the longer it will take the molecules to diffuse the entire distance. Some pulmonary diseases cause fibrosis of the lungs and can increase the thickness of some portions of the respiratory membrane (↑distance) → impair gaseous exchange.

احنا بالعادة بنعبر غشائين غشاء ال alveoli وغشاء ال capillary فالمسافة بين الغشائين مهمة، في بعض الامراض بصير fibrosis ويصير في thickness بين الغشائين وهنا بصير الـ diffusion

Physical factors affecting the rate of gas diffusion (cont.)

كل ما زاد الوزن الجزيئي للمادة كل ما قلت سرعة العبور

5. The molecular weight of the gas (inverse relationship). The kinetic movement of the molecules is inversely proportional to the square root (تحت الجذر) of the molecular weight. The greater the velocity of kinetic movement, the greater the rate of diffusion of the gas.

6. The temperature of the fluid (direct relationship). This factor does not need to be considered since body temperature remains reasonably constant.

كل ما زادت الحرارة كل ما صار عبور الغاز اسهل لكن ليس له قيمه في جسم الانسان فقط في المختر لانه حرارة الجسم ثابتة

$$Diffusion\ rate\ (D) \propto \frac{\Delta P \times A \times S}{d \times \sqrt{MW}}$$

ΔP is the partial pressure difference between the two ends of the diffusion pathway, ***A*** is the cross-sectional area of the pathway, ***S*** is the solubility of the gas, ***d*** is the distance of diffusion, and ***MW*** is the molecular weight of the gas.

Physical factors affecting the rate of gas diffusion (cont.)

Note:

1. The ***diffusion coefficient*** of the gas is determined by ***two*** factors, namely, $S/\sqrt{MW}$. This means that the relative rates at which different gases at the same partial pressure levels will diffuse, are proportional to their diffusion coefficients.

عبور ال co2 أسهل بعشرين مره من ال O2

2. If the diffusion coefficient of O_2 is assumed as 1, then, the relative coefficient for CO_2 is 20.3. Therefore, for a given pressure difference, CO_2 diffuses about 20 times as rapidly as O_2.

بوجه كوح بالاسفل

3. Since both oxygen and carbon dioxide are ***highly lipid soluble***, then the major limitation to the movement of these gases in tissues is the rate at which the gases can diffuse through the tissue water instead of through the cell membranes.

ما في مقارنه ما بين ال co2 وال o2 بهذا لانهم الثنين highly lipid soluble

membrane هيدا مارح يعيقن دخولهم ال

لما ندرس امراض ال lung اذا صار مرض وال membrane شوي تأثر شو رح يصير ؟

هل رح يصير حبس للco2 في الدم ويصير عالي بالدم وما يقدر الجسم يطلعه ، ولا عدم القدرة على ادخال ال o2 الى الجسم

المدخن القديم شفايفه زرقاء بسبب ال cyanosis لانه الاكسجين ما صار يعبر بشكل كافي

يظهر اذا Hg من ال ١٠g لا تحتوي اكسجين كافي الجسم يحتوي ١٥g من ال ١٢g

بسبب قدرة ال co2 العاليه على الذوبان هذا يسمح له بالخروج الا بالمراحل المتأخرة من المرض

الارقام اللي لازم نحفظها عشان الباقي تكونوا محفوظينها

Partial Pressures of Respiratory Gases (in mm Hg) as They Enter and Leave the Lungs (at Sea Level)

	Atmospheric Air	Humidified Air	Alveolar Air	Expired Air
N_2	597 (78.62)	563.4 (74.09)	569 (74.9)	566 (74.5)
O_2	159 (20.84)	149.3 (19.67)	104 (13.6)	120 (15.7)
CO_2	0.3 (0.04)	0.3 (0.04)	40 (5.3)	27 (3.6)
H_2O	3.7 (0.50)	47 (6.20)	47 (6.2)	47 (6.2)
Total	760 (100)	760 (100)	760 (100)	760 (100)

لاحظ انه قليل عند الـ alveoli

الي نزل من القيمة الموجودة في الـ atmospheric

انه غازات اخرى اختلفت واختفت الماء وقللت من حصة الاكسجين الي اخذ هواء CO_2 وبخار الماء

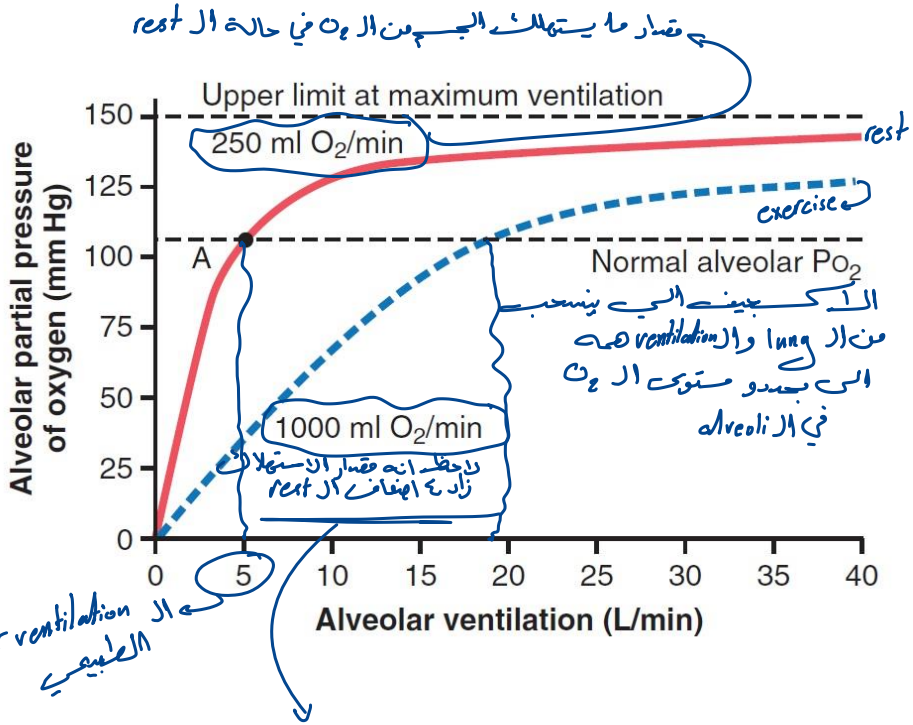
وبين ما تروح قيمته ثابته

قارن بين العامودين

تحت ريح نتعرف كيف العجم يحافظ انه تبقى الارقام ثابته

Oxygen concentration and P_{AO_2}

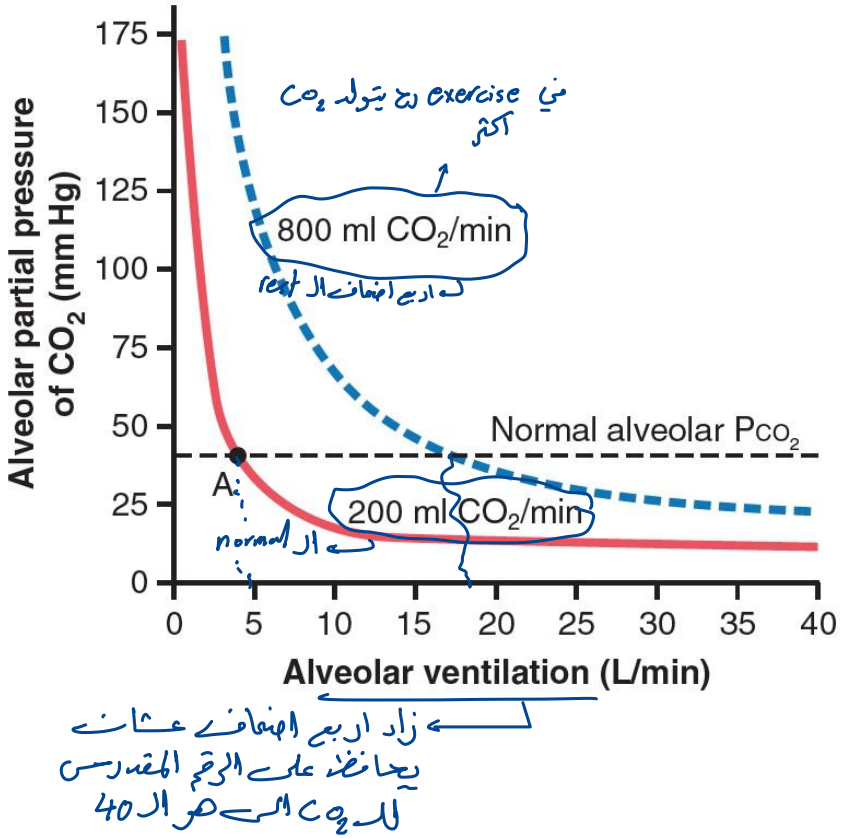
- P_{AO_2} is determined by (1) the rate of absorption of O_2 into the blood and (2) the rate of entry of new O_2 into the lungs by the ventilatory process.
- Red curve → O_2 absorption at a rate of 250 ml/min (rest level)
- Blue curve → O_2 absorption at a rate of 1000 ml/min (exercise)
- Note that the rate of alveolar ventilation increases fourfold to maintain the alveolar PO_2 at the normal value of 104 mmHg.



اذا ما زاد ال ventilation يعني نبقى 5 رح نشوف انه ال o2 صار في ال alveoli ٢٥
لكن ضل 100 وهذا يعني انه ال ventilation زاد 4 اضعاف ، صار التعويض بقدر قيمة الاستهلاك عشان نحافظ على الضغط داخل ال alveoli 100

Carbone dioxide concentration and P_{ACO_2}

- P_{ACO_2} is determined by (1) the rate of excretion of CO_2 into the blood and (2) the rate of removal of CO_2 from the alveoli by ventilation.
- Red curve → normal rate of CO_2 excretion of 200 ml/min (rest level)
- Blue curve → CO_2 excretion rate of 800 ml/min (exercise)
- Note that (1) the alveolar PCO_2 increases directly in proportion to the rate of CO_2 excretion, as represented by the fourfold elevation of the curve, and (2) the alveolar PCO_2 decreases in inverse proportion to alveolar ventilation. The operating point for alveolar PCO_2 is at point A in the figure (i.e., 40 mmHg).



هسا خلينا نجاوب كيف رح يزيد سحب ال o2 في ال exercise انته انه ال gradient نفسه وال solubility ما زادت ولا MW ما تغير

اتخيل انه في خلية دم حمراء واقفة في بداية ال capillaries الي على سطح ال alveoli يعني جاية من ال venous side وبعدها ما دخلت ال capillary كم رح تحتاج وقت حتى تعبر ال capillaries وتطلع من الجهة الثانيه حتى تروح لل الاذين الايسر تحتاج 0.75 من الثانيه عبور سريع.
الاكسجين الذي يعبر من ال alveoli الى الدم وراح لل Hg رح يحتاج ربع ثانيه حتى يشبع خلية الدم الحمراء بالاكسجين هذا يعني انه خلية الدم الحمراء مشت ثلث طول ال capillary وتعبت o2 وطلعت من الجهة الثانيه مليانه يعني التشبع سريع ، لا يوجد مشكلة بال diffusion من ال alveoli للدم

طيب لما يصير في exercise رح تزيد كمية الدم الي جاية وتزيد سرعته
في اعظم exercise رح تحتاج خلية الدم الحمراء ربع ثانيه عشان تعبر يعني ثابته، هذا يعني انه الي زود كمية الاكسجين الي راحت للدم هو ليس سرعة العبور بل كمية الدم الي جاية

هذا شرح الـــــلايبين الي تحت

Diffusing Capacity of the Respiratory Membrane

- The diffusion capacity of a gas is the volume of that gas that will diffuse through the membrane each minute for a partial pressure difference of 1 mmHg.
- The time courses for the red blood cell to moves through the pulmonary capillary takes about 0.75 s.
- Under typical resting conditions, the capillary PO_2 virtually reaches that of alveolar gas when the red cell is about one-third of the way along the capillary. Therefore, O_2 transfer (from alveolus to blood) is perfusion limited and not diffusion limited.
- The diffusing capacity for O_2 under resting conditions averages 21 ml/min/mmHg. This capacity increases during exercise.

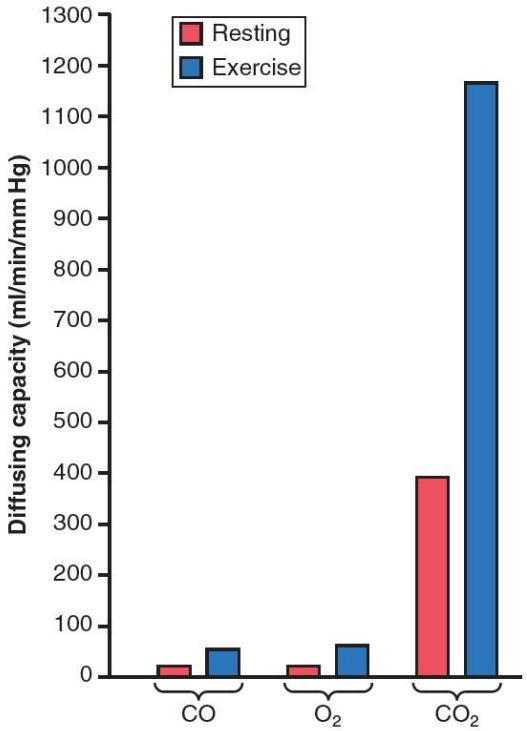


Figure *Diffusing capacities* for carbon monoxide, oxygen, and carbon dioxide in the normal lungs under resting conditions and during exercise.

Diffusing Capacity of the Respiratory Membrane (cont.)

- With severe exercise, the pulmonary blood flow is greatly increased, and the time spent by the red cell in the capillary may be reduced to as little as 0.25 s. However, in normal subjects breathing air, there is still no measurable fall in end-capillary PO_2.
- Since the diffusion coefficient of CO_2 is slightly more than 20 times that of O_2, it can be assumed that a diffusing capacity for CO_2 under resting conditions is about 400 to 450 ml/min/mmHg and during exercise of about 1200 to 1300 ml/min/mmHg.
- Physiologists usually measure carbon monoxide (CO) diffusing capacity instead of O_2 diffusing capacity as it is easier. Oxygen diffusing capacity is obtained by multiplying CO diffusing capacity by a factor of 1.23. The average diffusing capacity for CO in healthy young men at rest is 17 ml/min/mmHg.

correction factor

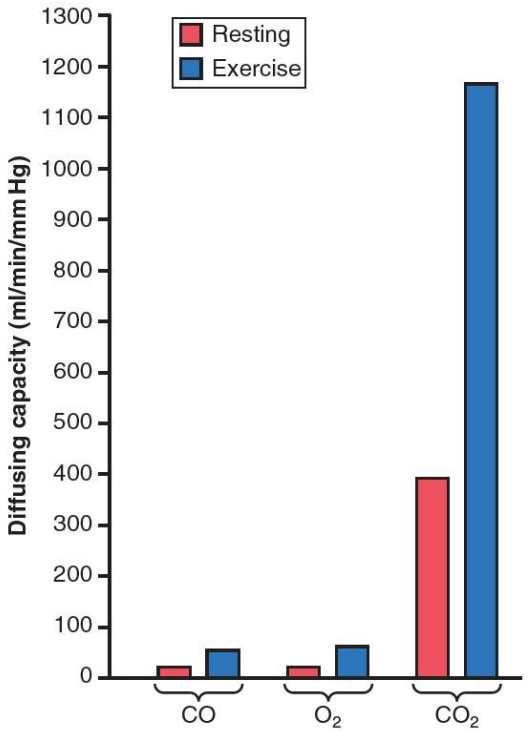


Figure *Diffusing capacities* for carbon monoxide, oxygen, and carbon dioxide in the normal lungs under resting conditions and during exercise.

Test Question:

Q. Concerning the diffusing capacity of the lung:

A. It is best measured with carbon monoxide because this gas diffuses very slowly across the blood-gas barrier.

B. Diffusion limitation of oxygen transfer during exercise is more likely to occur at sea level than at high altitude.

C. Breathing oxygen reduces the measured diffusing capacity for carbon monoxide compared with air breathing.

D. It is decreased by exercise.

E. It is increased in pulmonary fibrosis, which thickens the blood-gas barrier.

Respiratory System

وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا