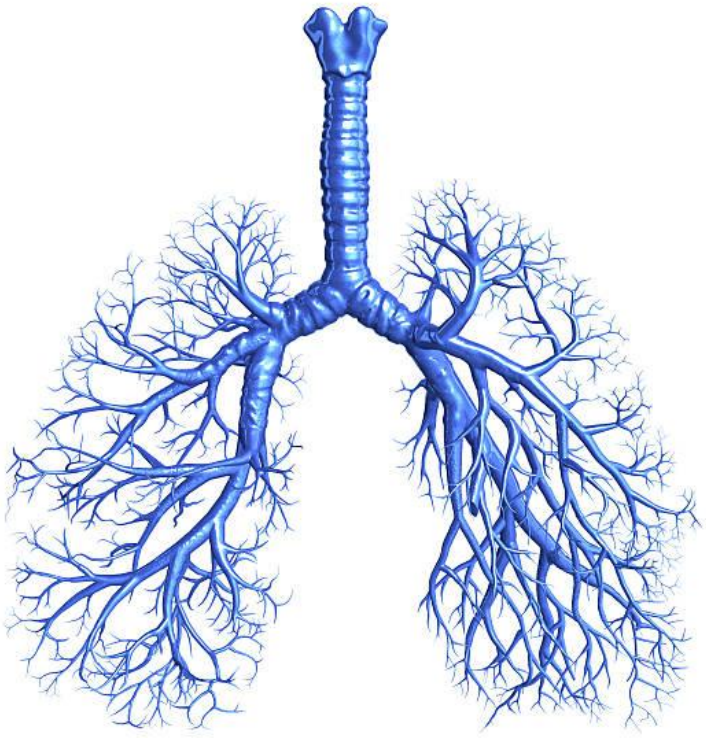
Respiratory System Physiology

Lecture 1

Dr. Yanal Shafagoj



Comprehensive File

Done By:

Mohammad Mahasneh

Almothana Khalil

Overview

النظام التنفسي هو المسؤول عن الحفاظ على التوازن البيولوجي للأوكسجين (O_2) وثاني أكسيد الكربون (CO_2) ودرجة الحموضة (pH) في الجسم. النظام التنفسي يساهم في التوازن الداخلي الذي يضمن حصول الأنسجة على الأوكسجين بشكل كافٍ، وفي نفس الوقت يتم التخلص من ثاني أكسيد الكربون

The respiratory system is responsible for the homeostasis of oxygen (O_2), carbon dioxide (CO_2) and pH in our bodies. Normal physiological are around the following values:

القيم الطبيعية:

- Arterial oxygen pressure (P_aO_2) = 100 mmHg •الضغط الجزئي للأوكسجين (PaO_2) = 100 مم زئبقي
- Arterial carbon dioxide pressure (P_aCO_2) = 40 mmHg الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون ($PaCO_2$) = 40 مم زئبقي
- pH = 7.4 (the renal system also plays an important role in pH regulation). درجة الحموضة (pH) = 7.4 (ويشارك النظام الكلوي أيضاً في تنظيم الـ pH)

These are collectively referred to as ABGs (arterial blood gases). Normal ABG values do not necessarily indicate a normal lung, as the lung has a good functional reserve that compensates in case of diseases. This will be addressed in the next lecture.

هذه القيم تُعرف باسم غازات الدم الشريانية (ABGs)، وهي لا تشير بالضرورة إلى رئة طبيعية، حيث أن الرئتين لها احتياطي وظيفي كبير يمكن أن يعوض في حال الأمراض

The lungs have a huge diversity of non-respiratory functions that include the aid in venous return through inspiration, regulation of arterial blood pressure through the conversion of angiotensin I into angiotensin II, acid base balance through the regulation of CO_2 levels that directly affect the levels of H^+ and therefore pH levels. These functions are not the scope of this module, and our main focus will be on the regulation of O_2 and CO_2 levels.

وظائف الرئتين غير التنفسية

الرئتان ليستا فقط مسؤولتين عن التنفس، بل لهما العديد من الوظائف غير التنفسية التي تشمل:

- المساعدة في التهوية الوريدية: هذه العملية تشمل المساعدة في سريان الدم في الأوعية الدموية
- تنظيم ضغط الدم الشرياني: من خلال تحويل الأنجيوتنسين I إلى الأنجيوتنسين II. هذا التأثير يلعب دوراً في تنظيم ضغط الدم في الجسم.
- توازن الحمض والقاعدة: الرئتين تساعد في تنظيم مستويات الحموضة في الجسم من خلال التحكم في مستوى ثاني أكسيد الكربون، مما يؤثر على مستوى الأيونات الهيدروجينية (H^+) وبالتالي درجة الحموضة

العلاقة بين الرئتين والقلب

الرئتين والقلب يعملان معًا بشكل مترابط. فعندما تحدث حالات مرضية تؤثر على أحدهما، يمكن أن يؤثر ذلك بشكل غير مباشر على الآخر. على سبيل المثال

الفشل القلبي الأيسر: عندما يفشل القلب الأيسر في ضخ الدم بشكل فعال، قد يؤدي ذلك إلى الوذمة الرئوية (تراكم السوائل في الرئتين) مما يؤثر على التنفس.

The lungs and the heart are interconnected, and this means that conditions that affect the heart will be reflected on the lungs, and vice versa. For example, left heart failure leads to pulmonary edema, while many lung diseases result in right heart failure (Cor pulmonale).

أمراض الرئة: في المقابل، عندما تكون هناك أمراض رئوية (مثل مرض الانسداد الرئوي المزمن أو التليف الرئوي)، قد تؤدي إلى فشل القلب الأيمن (ما يُسمى القلب الرئوي).

Oxygen

2. Oxygen (الأوكسجين)

دور الأوكسجين في الجسم

الأوكسجين هو عنصر أساسي في الجسم لاستخدامه في عملية الفسفرة المؤكسدة داخل الميتوكوندريا. هذه العملية تساهم في إنتاج حوالي 36 جزيء ATP لكل جزيء جلوكوز يتم تحليله عبر عملية التحلل السكري (Glycolysis). وفي غياب الأوكسجين، لا يمكن للميتوكندريا إنتاج نفس الكمية من ATP

Cells require oxygen as the terminal electron acceptor in the oxidative phosphorylation process that is carried out by the mitochondria for the generation of around 36 ATPs from 2 pyruvate molecules that were generated by glycolysis. In the absence of oxygen, pyruvate can't be utilized to produce that amount of ATP, and the cell will end up with only 2 ATPs generated through anaerobic glycolysis.

1 Glucose → 36 ATP

نقص الأوكسجين

•**Hypoxia** (نقص الأوكسجين في الخلايا): يشير إلى حالة حيث لا تستخدم الخلايا الأوكسجين بشكل كافٍ. يمكن أن يحدث ذلك حتى لو كانت مستويات الأوكسجين في الدم طبيعية. قد يحدث هذا بسبب مشاكل في الميتوكوندريا أو ضعف قدرة الخلايا على استخدام الأوكسجين.

Hypoxia is defined as decreased oxygen utilization by the body cells.

Hypoxemia is defined as decreased oxygen concentration in the blood.

Hypoxemia (نقص الأوكسجين في الدم): هو حالة نقص تركيز الأوكسجين في الدم. وهذا يحدث عندما لا يكون هناك ما يكفي من الأوكسجين في الدم للوصول إلى الأنسجة والخلايا.

Note that hypoxia is not always due to hypoxemia as it could be due to the failure of the mitochondria to utilize oxygen even though normal oxygen concentrations are present in the circulation. This could be due to defects in the respiratory chain components or due to toxins, such as cyanide (CN^-) or some bacterial products.

التفريق بين Hypoxia و Hypoxemia

•**Hypoxia** نقص الأوكسجين في الخلايا (Hypoxia) قد يحدث بسبب فشل الميتوكوندريا في استخدام الأوكسجين، حتى وإن كانت مستويات الأوكسجين في الدم طبيعية. على سبيل المثال:

•قد يحدث هذا بسبب التسمم السام (مثل السيانيد - CN^-) أو بسبب بعض المنتجات البكتيرية التي تعيق قدرة الخلايا على استخدام الأوكسجين بشكل صحيح.

•مثال على تأثير السيانيد: السيانيد يمكن أن يتداخل مع قدرة الميتوكوندريا على استخدام الأوكسجين، وبالتالي يؤدي إلى نقص الأوكسجين داخل الخلايا (Hypoxia) رغم وجود مستويات طبيعية من الأوكسجين في الدم (أي أن الدم لا يحتوي على نقص في الأوكسجين أو Hypoxemia).

Hypoxia لا تعني بالضرورة Hypoxemia.

الخلاصة

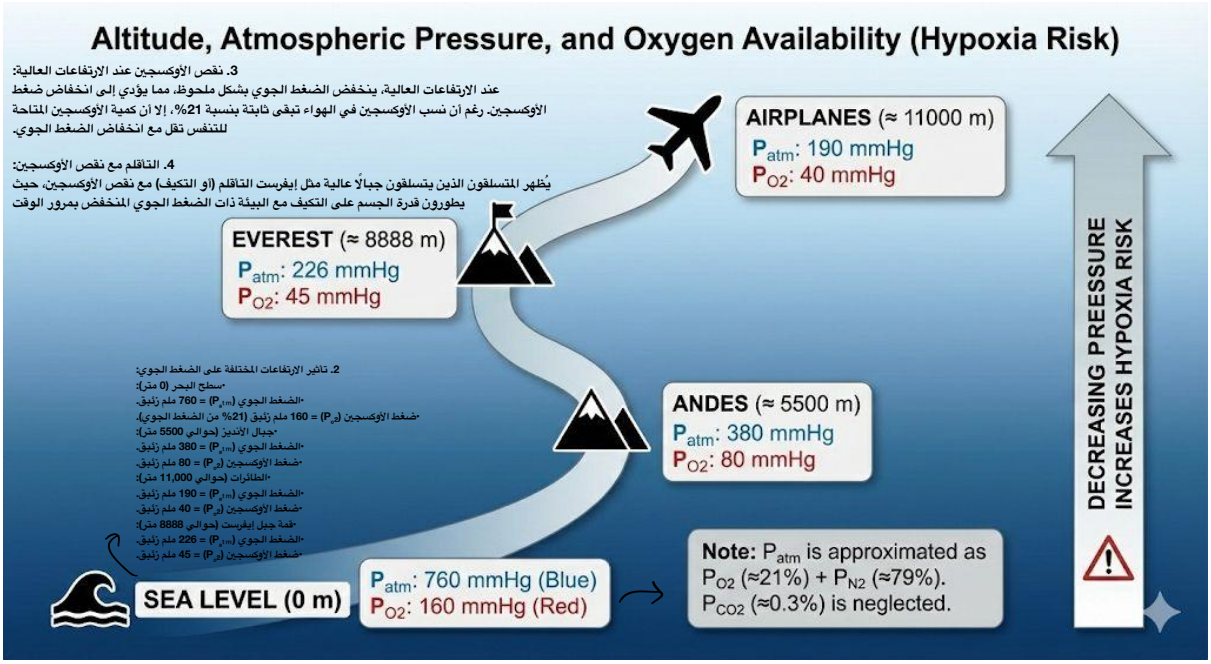
النظام التنفسي له دور حيوي في الحفاظ على مستويات الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون في الجسم، مما يسهم في توازن بيولوجي دقيق. بالإضافة إلى دوره في التنفس، يلعب الجهاز التنفسي أيضًا دورًا في تنظيم ضغط الدم وتوازن الحمض والقاعدة، والتفاعل مع الجهاز القلبي. الأوكسجين، الذي يعد من العناصر الحيوية، يُستخدم في العمليات الخلوية لتوليد الطاقة، وأي خلل في استخدامه قد يؤدي إلى مشاكل صحية خطيرة

1. الضغط الجوي وملوحة الأوكسجين:
الضغط الجوي هو وزن عمود الهواء الذي يمتد بين الغلاف الجوي والأرض. في مستوى سطح البحر، يكون الضغط الجوي 760 ملم زئبق (P_{atm})، بينما يتناقص تدريجيًا مع زيادة الارتفاع. بينما يبقى نسبة الأوكسجين في الهواء ثابتة بنسبة 21% في جميع الارتفاعات، إلا أن ضغط الأوكسجين (P_{O_2}) يتغير حسب الارتفاع

الصورة التي قمت بتحميلها تشرح مفهوم نقص الأوكسجين عند الارتفاعات العالية (Hypoxia)، وتوضح تأثير انخفاض الضغط الجوي على توفر الأوكسجين في الهواء عندما يرتفع الشخص إلى أماكن عالية مثل الجبال أو الطائرات

One important cause of hypoxia in healthy individuals is the unavailability of oxygen in the air. This is seen in the case of altitude hypoxia. Atmospheric pressure is the weight of a column of air extending between the atmosphere and the ground over the area under it; at sea level, P_{atm} is 760 mmHg, and it starts to decline with increasing elevation. Take your time analyzing the picture below; notice how both the total P_{atm} and partial pressures of gases, such as PO_2, change. Beware that the relative composition of air remains the same, irrespective of the elevation (PO_2 = 21% * P_{atm}).

Climbers develop acclimatization (أقلمة أو تأقلم) as they slowly climb the summit; detailed mechanisms will be discussed later.



الجهاز التنفسي:

في الجزء الثاني من الصورة، يُشرح الجهاز التنفسي وكيفية تقسيمه إلى جهاز نقل الهواء و سطح التبادل الغازي

The Respiratory Tract

1. جهاز نقل الهواء (Conducting System):
يتكون من الأنابيب الهوائية التي تنقل الهواء إلى الرئتين، وهذه تشمل:
- القصبة الهوائية (Trachea): قطرها 15-22 مم، عددها 1، والمساحة المقطعية 2.5 سم².
- الشعب الهوائية الرئيسية (Primary Bronchi): قطرها 10-15 مم، عددها 2، والمساحة المقطعية 2 سم².
- الشعب الهوائية الصغيرة (Smaller Bronchi): قطرها 1-10 مم، عددها 4، والمساحة المقطعية 4 سم².
- الشعب الهوائية (Bronchioles): قطرها 0.5-1 مم، عددها 100، والمساحة المقطعية 8 × 10^7 سم².

	Name	Division	Diameter (mm)	How many?	Cross-sectional area (cm^2)
Conducting system	Trachea	0	15-22	1	2.5
	Primary bronchi	1	10-15	2	
	Smaller bronchi	2	1-10	4	
		3			
		4			
		5			
		6-11		1 x 10^4	
Exchange surface	Bronchioles	12-23	0.5-1	2 x 10^4 ↓ 8 x 10^7	100 ↓ 5 x 10^3
	Alveoli	24	0.3	3-6 x 10^8	>1 x 10^6

2. سطح التبادل الغازي (Exchange Surface):
يشمل الأجزاء التي تتم فيها عملية تبادل الغازات بين الهواء والدم، مثل:
- الحويصلات الهوائية (Alveoli): قطرها 0.3 مم، عددها أكثر من 1 × 10^8، والمساحة المقطعية تتراوح بين 3-6 × 10^8 سم². الحويصلات هي المكان الذي يحدث فيه التبادل الفعلي للأوكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الهواء في الرئتين والدم

يتم شرح كيفية تقسيم الجهاز التنفسي بطريقة تبين كيف يتوزع الهواء في القنوات التنفسية ويصل إلى الحويصلات حيث يحدث تبادل الغازات

الصور التي قمت بتحميلها تشرح هيكل الجهاز التنفسي من حيث تقسيم المجاري الهوائية، كيفية عملها، وتبادل الغازات في الرئتين. إليك شرحًا تفصيليًا للمحتوى:

مكونات الجهاز التنفسي:
1. المجاري الهوائية (Airways): تبدأ من الأنف والفم، ثم البلعوم (pharynx)، الحنجرة (larynx)، القصبة الهوائية (trachea)، وتستمر إلى الشعب الهوائية الرئيسية اليمنى واليسرى (primary bronchi) وصولًا إلى تقسيمات أصغر في الرئتين.
2. الحويصلات الهوائية (Alveoli): هي الأجزاء التي يتم فيها التبادل الغازي بين الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون.
3. المكونات الوعائية (Vascular Components): تشمل الأوعية الدموية التي تحمل الأوكسجين إلى الأنسجة وثاني أكسيد الكربون إلى الرئتين ليتم التخلص منه

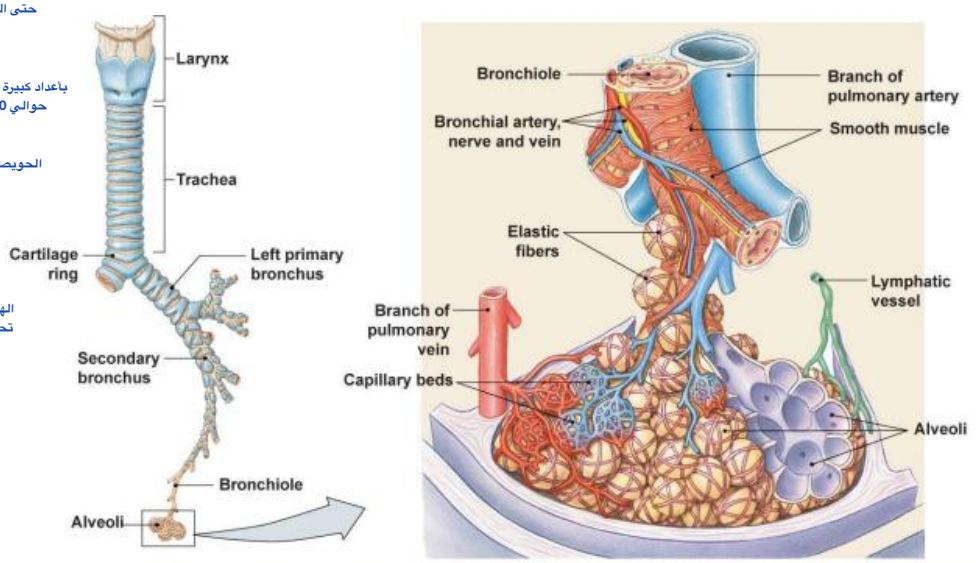
The respiratory system is composed of three components: **airways, alveoli, and vascular components**. Airways start with the nose and the mouth, then the pharynx, larynx, and trachea. At the end of the trachea, the first division occurs to give the left and right primary bronchi, and divisions of the airway continue, reaching the **16th division** also known as the **terminal bronchiole**. The **0-16th divisions** resemble the **conductive zone**, whose main function is allowing air to enter into subsequent divisions. The airway in general shows resistance to entering of air, and this resistance is highly influenced by its diameter; remember that $R \propto \frac{1}{r^4}$. Diseases of obstructive pattern affecting the conductive zone lead to increased resistance, which causes difficulty in expiration, giving a wheezing sound. Note that no gas exchange happens across this pathway as its wall is thick. The conductive zone (0-16th divisions) is also called **the anatomical dead space**, as no gas exchange happens across its wall. However, it is not dead functionally, as it has some other functions.

تقسيم المجاري الهوائية:
1. المنطقة الموصلة (Conductive Zone):
- تتضمن الأجزاء من 0 إلى 16 من المجاري الهوائية.
- الوظيفة: توفير مسار للهواء للانتقال إلى الأقسام التالية، ولكن لا يحدث فيها تبادل الغازات.
- المقاومة: هذه المناطق تتسبب في مقاومة لدخول الهواء حيث تكون جدرانها سميكة. الأمراض التي تؤثر على هذه المنطقة مثل انسداد الشعب الهوائية (مثل الربو) تؤدي إلى زيادة المقاومة وصعوبة التنفس، مما يسبب أحيانًا صفيرًا أثناء الزفير

Divisions continue after the terminal bronchiole, starting from the **17th division,** which is called the **respiratory bronchiole**, until the **23rd** division (or 24th) that gives the **alveoli**. The **17th-23rd divisions** resemble the **respiratory zone**. The alveoli resemble balloons in shape; they are 600-800 million in number, each with a diameter of about 300 μm. They are inflatable and compliant with minimal resistance. Diseases of restrictive pattern that affects the alveoli lead to difficulty in inspiration. The figure below shows how the alveoli are extensively vascularized as hundreds of capillaries surround each alveolus.

2. المنطقة التنفسية (Respiratory Zone):
- تبدأ من القسمة 17 (الشُعَب الهوائية التنفسية) حتى القسمة 23 أو 24 حيث توجد الحويصلات الهوائية.
- الوظيفة: هي المكان الذي يحدث فيه تبادل الغازات بين الهواء والدم.
- الحويصلات الهوائية: تشبه البالونات وتوجد بأعداد كبيرة تتراوح بين 600 إلى 800 مليون، قطر كل حويصلة حوالي 300 ميكرومتر. هذه الحويصلات قابلة للنفخ وسهلة التمدد مع مقاومة منخفضة.
- التأثيرات المرضية: الأمراض التي تؤثر على الحويصلات الهوائية (مثل أمراض الرئة المقيدة مثل التليف الرئوي) تؤدي إلى صعوبة في التنفس.

تبادل الغازات:
- التبادل الغازي يحدث في الحويصلات الهوائية حيث يتم تبادل الأوكسجين مع الدم وثاني أكسيد الكربون مع الهواء.
- الأوعية الدموية: تحتوي الحويصلات الهوائية على شبكة كبيرة من الشعيرات الدموية التي تحيط بكل حويصلة، مما يسهل عملية التبادل الغازي



Back to gas pressures, Dalton's Law, or the Law of Partial Pressures, states that the total pressure exerted by a mixture of gases is equal to the sum of the partial pressures of the gases in the mixture. At sea level, P_{atm} is around 760 mmHg, and oxygen contributes to around 21% of P_{atm} (160 mmHg), and nitrogen contributes to around 79% of P_{atm}. CO_2 contribution is about 0.3%, so it is neglected.

قانون دالتون (Dalton's Law):
- ينص قانون دالتون على أن الضغط الجزئي للغاز في خليط من الغازات يساوي مجموع الضغوط الجزئية لكل غاز على حدة.
- الضغط الجوي (P_{atm}): عند مستوى سطح البحر يكون حوالي 760 ملم زئبق.
- الأوكسجين (O_2) يشكل حوالي 21% من هذا الضغط الجوي، أي حوالي 160 ملم زئبق.
- النيتروجين (N_2) يشكل حوالي 79% من الضغط الجوي.
- ثاني أكسيد الكربون (CO_2): يساهم بنسبة صغيرة حوالي 0.3% وبالتالي يتم تجاهل تأثيره في الحسابات الدقيقة

الخلاصة:
- المجاري الهوائية تتكون من المنطقة الموصلة التي تسهل مرور الهواء، ثم المنطقة التنفسية حيث يحدث التبادل الغازي الفعلي.
- قانون دالتون يوضح كيف يؤثر كل غاز في الخليط الجوي على الضغط الكلي بناءً على نسبته.
- الحويصلات الهوائية هي الجزء الأهم في عملية التنفس حيث يحدث التبادل الفعلي للغازات مع الدم.

الصورة التي قمت بتحميلها تشرح التبادل الغازي في الرئتين من حيث الضغوط الجزئية للأوكسجين وثاني أكسيد الكربون في الأماكن المختلفة من الجهاز التنفسي والدم. إليك شرحًا مفصلاً للمحتوى

1. الضغط الجزئي للبخار الماء (PH_2O):
- الضغط الجزئي للبخار الماء في الجو قريب من الصفر، مما يعني أن الهواء في الخارج جاف.
- لماذا نضيف بخار الماء؟ أجسامنا لا تستطيع تحمل الهواء الجاف لأنه يضر بالجهاز التنفسي، لذا أثناء التنفس، يضيف المسار التنفسي والمجاري الهوائية وبالأخص الحويصلات الهوائية بخار الماء لتقليل التأثير الضار للهواء الجاف على المجاري الهوائية

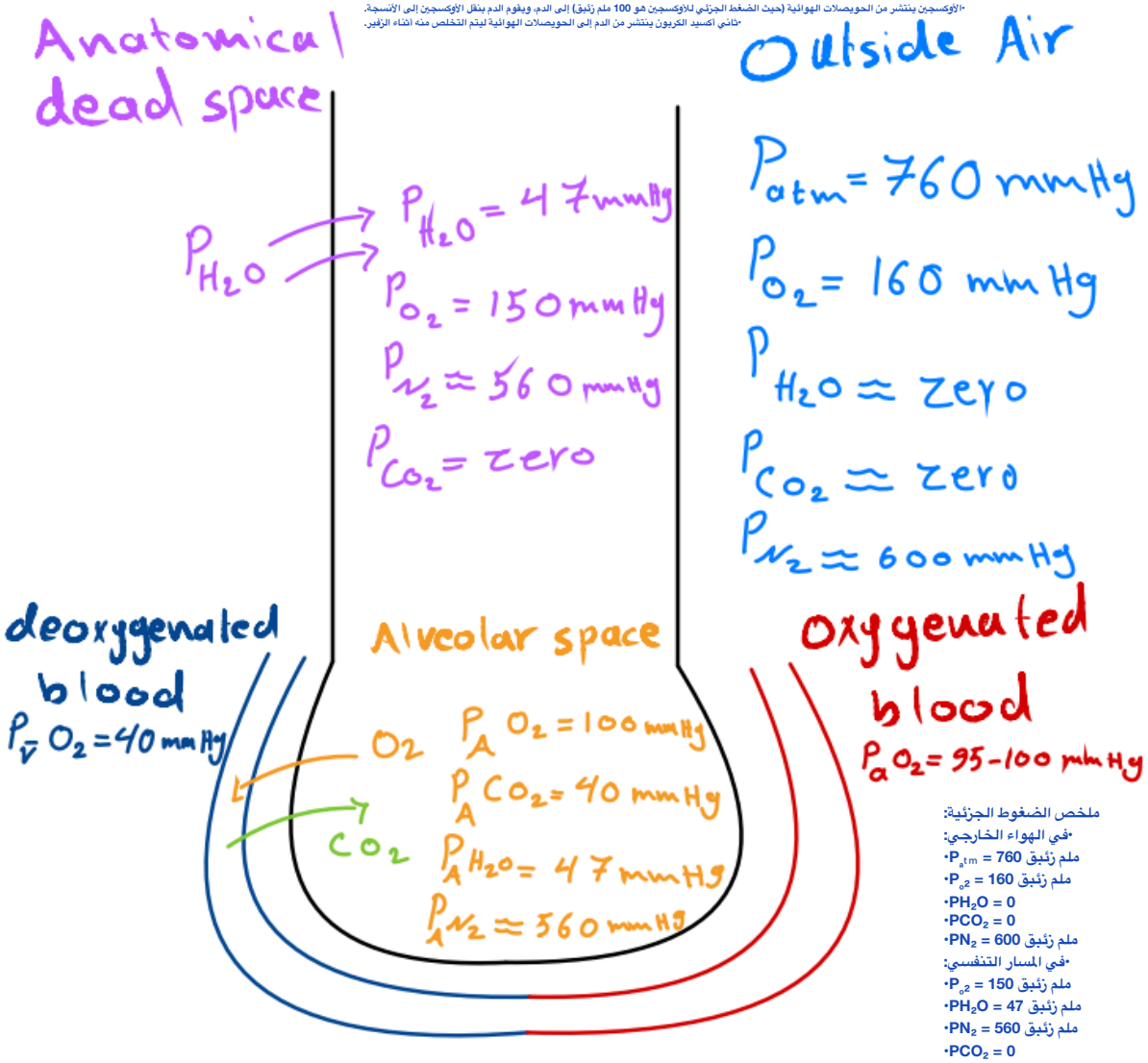
Partial pressure of water vapor (P_{H2O}) in the atmosphere is around zero, thus the air is considered dry. Our bodies cannot tolerate dry air as it is damaging to the airway, so once we breath in, the conductive zone will add water vapor that will have the pressure of 47 mmHg at a core body temperature of 37 Celsius. As the total pressure is the same in the outside air, airways, and alveoli, the added gas will displace gases from the inspired air, thus oxygen and nitrogen will contribute to 713 mmHg (760 – 47). This causes the airway partial pressure of oxygen to be equal to 150 mmHg (0.21 * 713).

2. التأثيرات على ضغط الأوكسجين في المسار التنفسي:
- عند التنفس، يدخل الهواء إلى المجاري الهوائية، والتي تحتوي على بخار الماء بسبب درجة حرارة الجسم (37 درجة مئوية).
- الضغط الجوي الكلي في الخارج هو 760 ملم زئبق. عندما يدخل الهواء إلى المسار التنفسي، يتم إضافة بخار الماء ويؤدي إلى تغير في الضغط.
- الضغط الجزئي للأوكسجين في الهواء الداخلي (داخل المسار التنفسي) = 150 ملم زئبق.
- الضغط الجزئي للنيتروجين في المسار التنفسي = 560 ملم زئبق.
- الضغط الجزئي لبخار الماء (PH_2O) في المسار التنفسي = 47 ملم زئبق (بسبب درجة حرارة الجسم).
- الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون (PCO_2) = صفر (لأنه لم يتبادل مع الدم بعد).

In the alveoli, oxygen starts to diffuse out down its pressure gradient to saturate the blood, thus $P\bar{v}O_2$ (the "v" stands for venous, and the bar stands for "mixed", as the venous blood that is drained from the systemic veins is mixed before going through the pulmonary artery) will have oxygen added to it, leading to a P_aO_2 (arterial partial oxygen pressure) of around 100 mmHg. Similarly, as CO_2 diffuses from the blood into the alveoli, its partial pressure in the blood will decrease. N_2 and H_2O are considered spectators; we are only concerned about O_2 and CO_2 pressure changes.

3. الضغط الجزئي للأوكسجين في الحويصلات الهوائية:
- في الحويصلات الهوائية، يبدأ الأوكسجين بالانتشار في الدم.
- الضغط الجزئي للأوكسجين في الحويصلات الهوائية = 100 ملم زئبق.
- الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون = 40 ملم زئبق.
- الضغط الجزئي لبخار الماء في الحويصلات الهوائية = 47 ملم زئبق (نفسه كما في المسار التنفسي).
- الضغط الجزئي للنيتروجين = 560 ملم زئبق.

4. الدم المؤكسد مقابل الدم غير المؤكسد:
- الدم غير المؤكسد: الدم الذي عاد من الأنسجة إلى القلب ثم إلى الرئتين، ويحتوي على أوكسجين منخفض (حوالي 40 ملم زئبق).
- الدم المؤكسد: الدم الذي تم تبادل الغازات فيه في الحويصلات الهوائية بحيث تم إضافة الأوكسجين للدم، ويحتوي على أوكسجين مرتفع (بين 95-100 ملم زئبق).
التبادل الغازي في الحويصلات الهوائية:
- الأوكسجين ينتشر من الحويصلات الهوائية (حيث الضغط الجزئي للأوكسجين هو 100 ملم زئبق) إلى الدم، ويقوم الدم بنقل الأوكسجين إلى الأنسجة.
- ثاني أكسيد الكربون ينتشر من الدم إلى الحويصلات الهوائية ليتم التخلص منه أثناء الزفير.



ملخص الضغوط الجزئية:
- في الهواء الخارجي:
- P_{atm} = 760 ملم زئبق
- P_{o_2} = 160 ملم زئبق
- PH_2O = 0
- PCO_2 = 0
- PN_2 = 600 ملم زئبق
- في المسار التنفسي:
- P_{o_2} = 150 ملم زئبق
- PH_2O = 47 ملم زئبق
- PN_2 = 560 ملم زئبق
- PCO_2 = 0
- في الحويصلات الهوائية:
- P_{o_2} = 100 ملم زئبق
- PCO_2 = 40 ملم زئبق
- PH_2O = 47 ملم زئبق
- PN_2 = 560 ملم زئبق
- في الدم المؤكسد:
- $P_{a_{o2}}$ = 95-100 ملم زئبق.

هذه الصورة تشرح بشكل دقيق كيفية تأثير ضغط الغازات في التنفس، وكيف ينتقل الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الحويصلات الهوائية والدم

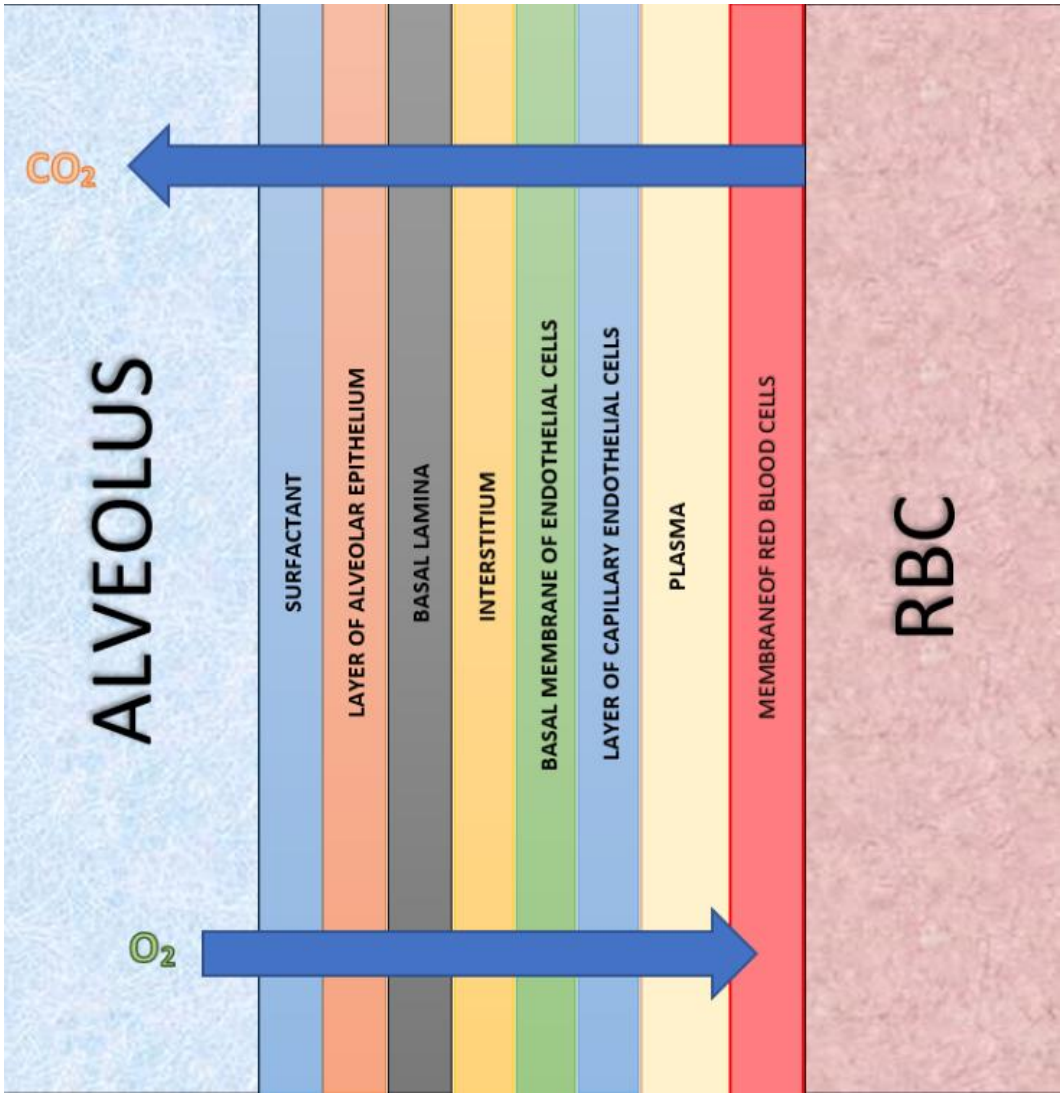
طبقات الغشاء التنفسي:
عندما ينتشر الأوكسجين من الحويصلات الهوائية إلى الدم، يجب أن يمر عبر 6 طبقات، كما هو موضح في الصورة. من اليسار إلى اليمين

When oxygen diffuses from the alveoli to the blood, it has to cross 6 layers: (read the figure below from left to right)

1. The surfactant layer
1.الطبقة السطحية (Surfactant Layer):
•هي طبقة رقيقة من السائل الذي يغطي الحويصلات الهوائية. يساعد السطح الفعال (Surfactant) في تقليل التوتر السطحي داخل الحويصلة مما يسهل تبادل الغازات ويحافظ على انفتاح الحويصلة
2. The alveolar epithelium
2.الظهارة الحويصلية (Alveolar Epithelium):
•هذه الطبقة مكونة من خلايا الظهارة التي تبطن الحويصلات الهوائية، وهي تلعب دوراً مهمًا في حماية الحويصلات وتسهيل مرور الغازات
3. The alveolar basement membrane
3.الغشاء القاعدي للحويصلة (Alveolar Basement Membrane):
•هو طبقة رقيقة تحتوي على مكونات هيكلية تساعد في دعم الخلايا الظهارية للحويصلة. يعمل كمصفاة لنقل الجزيئات بين الخلايا
4. The interstitium
4.الأنسجة الخلالية (Interstitium):
•هي المسافة بين الطبقات التي تفصل بين الحويصلات والشعيرات الدموية. تحتوي على الأنسجة الضامة التي تعمل على دعم الأنسجة المحيطة
5. The basement membrane of the endothelium
5.الغشاء القاعدي للبطانة الوعائية (Basement Membrane of the Endothelium):
•هو الغشاء الذي يفصل بين خلايا البطانة الوعائية (Endothelial Cells) والخلايا المجاورة. يساعد في تثبيت الخلايا الوعائية في أماكنها
6. The endothelial cell
6.الخلية الباطنية (Endothelial Cell):
•هي الخلايا التي تبطن الشعيرات الدموية. هذه الخلايا تساهم في تسهيل تبادل الغازات مثل الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون

Neglecting the plasma and the membrane of the RBCs, the 6 layers above are collectively called the **respiratory membrane**, spanning a thickness of 0.2-0.6 µm.

الغشاء التنفسي:
•الغشاء التنفسي (Respiratory Membrane) هو مجموعة الطبقات الستة السابقة التي يمتد عبرها الأوكسجين والغازات الأخرى في عملية التبادل الغازي بين الحويصلات الهوائية و الدم.
•الغشاء التنفسي يمتد بطول 0.2-0.6 ميكرومتر، وهو سمك صغير جدًا يسمح بمرور الغازات بسهولة.



عملية انتقال الغازات:
•الأوكسجين (O_2): ينتقل من الحويصلات الهوائية (التي تحتوي على ضغط جزئي مرتفع للأوكسجين) إلى الدم (الذي يحتوي على ضغط جزئي منخفض للأوكسجين).
•ثاني أكسيد الكربون (CO_2): ينتقل بالعكس من الدم (حيث يكون تركيزه مرتفعًا) إلى الحويصلات الهوائية (حيث يكون ضغطه الجزئي منخفضًا) ليتم التخلص منه أثناء الزفير

ملخص:

الغشاء التنفسي يتكون من 6 طبقات تمثل الحاجز الذي يمر عبره الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الحويصلات الهوائية والدم، مما يتيح التبادل الغازي بينهما ويسهل عملية التنفس

الصورة التي قمت بتحميلها تشرح بالتفصيل عملية تبادل الغازات في الرئتين وعلاقتها بظروف التنفس الطبيعية والأمراض التنفسية. إليك شرحًا مفصلاً للمحتوى:

التفريق بين نوعين من نقل الأوكسجين:
1.نقل الأوكسجين عن طريق الانتشار (Diffusion-Limited):
•في الظروف الطبيعية، لا يتم تقييد نقل الأوكسجين عبر الغشاء التنفسي، حيث يمر الأوكسجين من الحويصلات الهوائية إلى الدم ببساطة عن طريق الانتشار.
•إذا لم يتوفر الأوكسجين بشكل طبيعي، فإن القلق لا يتعلق بالانتشار، حيث أن الأوكسجين يمكن أن يعبر أي غشاء حيوي بسهولة في حال عدم وجود أي عائق (إلا إذا كان هناك خلل في نقل الأوكسجين في بعض الأمراض التنفسية).

Although the respiratory membrane consists of 6 layers, oxygen can pass through all 6 layers, by simple diffusion, without being interrupted at all. In fact, oxygen can cross any biological membrane as if the membrane does not exist. It is thus said that oxygen availability for the cells is **not diffusion-limited**, meaning that if oxygen is not available for the tissues, diffusion-related concerns are not the cause in normal physiological conditions (in some pathologies, oxygen diffusion can be impaired).

2.نقل الأوكسجين عن طريق الإمداد الدموي (Perfusion-Limited):
•في هذه الحالة، يعتمد توفر الأوكسجين على التروية، أي كمية الدم التي تصل إلى الحويصلات الهوائية. كلما زادت التروية، زادت كمية الأوكسجين التي تصل إلى الأنسجة.
•في الشخص الطبيعي، فإن الإنتاج القلبي (الكمية التي يضخها القلب من الدم) هو حوالي 5 لترات/دقيقة، مما يعني أن توفر الأوكسجين يعتمد على كمية الدم المتدفق.
•إذا كان الشخص رياضيًا ويشارك في سباق ماراثون، يمكن أن تصل كمية الدم المتدفق إلى 35 لترات/دقيقة، مما يزيد من التروية وبالتالي زيادة توفر الأوكسجين

However, oxygen availability is **perfusion-limited**, meaning that the availability of oxygen depends on the perfusion (amount of blood that arrives to the alveoli by the vasculature); the more the perfusion, the higher the amount of oxygen supplied to the circulation. In a normal person in normal conditions, the cardiac output is about 5 L/min, so oxygen availability to the tissues it determined by this amount of blood. If the person is an athlete in a marathon, up to 35 L/min may arrive to their alveoli, increasing gas exchange and thus oxygen availability.

ثاني أكسيد الكربون مقارنة بالأوكسجين:
•ثاني أكسيد الكربون له نفس الخصائص التي يمتلكها الأوكسجين في عملية الانتشار، ولكنه ينتقل عبر الأغشية أسرع 20 مرة من الأوكسجين. سيتم مناقشة السبب في ذلك في وقت لاحق

Carbon dioxide holds the same property as oxygen, but it passes through membranes 20 times better than oxygen. The reason behind this will be discussed later in this file.

As discussed above, in some pathologies, the gas exchanged is impaired; this is called respiratory failure, and it is generally of 2 types. Carbon dioxide can still pass normally in type I respiratory failure. However, if the disease is severe enough (type II), both oxygen and carbon dioxide diffusion will be impaired. See the following table for comparison between the two types of respiratory failure.

فشل التنفس (Respiratory Failure):
•في بعض الأمراض التنفسية، يتأثر تبادل الغازات في الرئتين، مما يؤدي إلى فشل التنفس. يمكن تصنيفه إلى نوعين

Situation	P_aO_2	P_aCO_2
Type I Resp. Failure	↓	Normal
Type II Resp. Failure	↓↓↓	↑

1.فشل التنفس من النوع الأول (Type I Respiratory Failure):
•P_aO_2 (ضغط الأوكسجين في الدم منخفض) منخفض.
•P_aCO_2 (ضغط ثاني أكسيد الكربون في الدم طبيعي) طبيعي.
•في هذا النوع من الفشل، يمكن لثاني أكسيد الكربون أن يمر بشكل طبيعي عبر الغشاء التنفسي، ولكن الأوكسجين لا يمكن تبادله بفعالية.
2.فشل التنفس من النوع الثاني (Type II Respiratory Failure):
•P_aO_2 (ضغط الأوكسجين في الدم منخفض جدًا) منخفض جدًا.
•P_aCO_2 (ضغط ثاني أكسيد الكربون في الدم مرتفع) مرتفع.
•في هذا النوع من الفشل، لا يتأثر فقط

Gas exchange has to occur across the respiratory membrane, and if it does not, blood composition of gases cannot be modified as the blood will return to the heart to be pumped to the systemic arteries, with the composition present after the alveoli.

Lung diseases are divided into 3 parts:

- 70% are of obstructive pattern – COPD (problems in expiration): Chronic bronchitis, emphysema, with or without asthma
- 20% are of restrictive pattern (problems in inspiration and expansion of alveoli)
- 10% are of vascular causes

أنماط الأمراض الرئوية:
الأمراض الرئوية مقسمة إلى ثلاثة أنواع رئيسية:
1.الأمراض ذات النمط الانسدادي (Obstructive Diseases):
•COPD (مثل التهاب الشعب الهوائية المزمن و الانتفاخ الرئوي، مع او بدون الربو (مرض الانسداد الرئوي المزمن).
•تمثل 70% من الأمراض الرئوية.
2.الأمراض ذات النمط المقيد (Restrictive Diseases):
•مشاكل في التنفس عند الشهيق وتوسع الحويصلات الهوائية.
•تمثل 20% من الأمراض الرئوية.
3.الأمراض ذات الأسباب الوعائية (Vascular Causes):
•تمثل 10% من الأمراض الرئوية، وتتعلق بالمشاكل في الأوعية الدموية

خلاصة:
•الأوكسجين يعتمد على التروية والانتشار عبر الأغشية التنفسية.
•ثاني أكسيد الكربون ينتقل عبر الأغشية أسرع 20 مرة من الأوكسجين.
•فشل التنفس يتم تقسيمه إلى نوعين: الأول يؤثر فقط على الأوكسجين، بينما الثاني يؤثر على الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون.
•الأمراض الرئوية تنقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسية تعتمد على نمط المرض: الانسدادي، المقيد، والأوعية الدموية

الصورة التي قمت بتحميلها تشرح طريقة تدفق الأوكسجين عبر الغشاء التنفسي في الرئتين باستخدام قانون أوم (Ohm's Law) الذي يعبر عن العلاقة بين الضغط الجزئي للأوكسجين (DF) و المقاومة (R). إليك شرحًا تفصيليًا للمحتوى:

1. استهلاك الأوكسجين عند الراحة:
- في الراحة، استهلاك الأوكسجين هو حوالي 250 مل/دقيقة. هذا يعني أن الأوكسجين الذي يدخل الأوعية الدموية من الحويصلات الهوائية هو كمية محددة يتم استهلاكها في الجسم

At rest, oxygen consumption is about 250 ml/min. Oxygen consumption is the amount of oxygen that **flows** from the alveoli into the vasculature per unit time.

2. تدفق الأوكسجين (Flow):
تدفق الأوكسجين هو كمية الأوكسجين التي تتحرك من الحويصلات الهوائية إلى الأوعية الدموية في الوحدة الزمنية. ويُحسب وفقًا لـ قانون أوم

$$Flow = \frac{DF}{R} \; [Ohm's\ Law]$$

حيث:
- DF (Driving Force): هو فرق الضغط الجزئي بين الأوكسجين في الحويصلات الهوائية (P_{AO_2}) والأوكسجين في الشعيرات الدموية (P_{aO_2}). هذا الفرق هو القوة الدافعة التي تجعل الأوكسجين ينتقل من الحويصلات الهوائية إلى الدم.
- R (Resistance): هي المقاومة أو صعوبة تدفق الأوكسجين عبر الغشاء التنفسي. يمكن أن تتأثر المقاومة بالعديد من العوامل، مثل سمك الغشاء التنفسي ودرجة نفاذيته.

$$(DF: Driving\ Force;\ R: Resistance)$$

The flow is determined by DF (the oxygen partial pressure gradient between the alveoli and the capillaries) and R (the difficulty for oxygen flow).

Resistance is a vague term that largely depends on the context, so a better measure is typically used, namely permeability (or conductance when talking about ions).

3. النفاذية (Permeability):
- المقاومة يمكن استبدالها بـ النفاذية (Permeability) التي تشير إلى سهولة مرور الأوكسجين عبر الغشاء التنفسي. بمعنى آخر، النفاذية (K) هي المعكوس للمقاومة، أي أنه كلما زادت النفاذية، زادت قدرة الأوكسجين على الانتقال بسهولة عبر الغشاء.
- الصيغة التي تحدد تدفق الأوكسجين استنادًا إلى النفاذية هي: \text{Oxygen Flow} = \Delta P O_2 \times K

Permeability (K) is essentially how easy the flow is. It is the reciprocal of resistance. When substituting into Ohm's law, the following equation emerges for oxygen flow:

$$\text{Oxygen Flow} = \Delta PO_2 * K$$

حيث:
- $\Delta P\ O_2$: هو الفرق بين الضغط الجزئي للأوكسجين في الحويصلات الهوائية والضغط الجزئي للأوكسجين في الشعيرات الدموية.
- K: هو عامل النفاذية الذي يعتمد على سمك الغشاء التنفسي ومساحة سطحه.

Regarding permeability itself, it depends on both membrane and gas factors, summarized in the following equation:

4. العوامل المؤثرة على النفاذية (K):
- يعتمد على 4 عوامل رئيسية K:
- A: مساحة السطح (Surface Area)
- dx: سمك الغشاء (Thickness)
- S: قابلية ذوبان الغاز في الغشاء (Gas Solubility)
- MW: الوزن الجزيئي للغاز (Molecular Weight)
- صيغة حساب النفاذية هي:
K = \left(\frac{A}{dx} \right) \times \left(\frac{S}{\sqrt{MW}} \right)

$$K = \left(\frac{A}{dx}\right) * \left(\frac{S}{\sqrt{MW}}\right)$$

$$(A: surface\ area;\ dx: thickness\ S: Gas\ solubility;\ MW: Gas\ molecular\ weight)$$

Total surface area of diffusion is 50-100 m^2; respiratory membrane thickness ≈ 0.5 μm.

As you can see, the first two factors (A, dx) are related to the respiratory membrane, and the other two factors (S, $\sqrt{MW}$) are related to the gas itself that passes across.

حيث:
- A: مساحة سطح الغشاء التنفسي الذي يتبادل عبره الغازات (تتراوح عادة بين 50-100 متر مربع).
- dx: سمك الغشاء التنفسي (حوالي 0.5 ميكرومتر).
- S: قابلية الذوبان للغاز في الغشاء. وكلما كانت القابلية أكبر، كان الانتقال أسرع.
- MW: الوزن الجزيئي للغاز، حيث أن الأوكسجين لديه MW = 32 غرام/مول بينما ثاني اكسيد الكربون لديه MW = 44 غرام/مول.

Among the four factors, **MW is the least important** because it is not significantly different between gases. For example, oxygen MW is 32 g/mol, while carbon dioxide MW is 44 g/mol; when plugging in the numbers, the difference is negligible primarily because of the presence of the square root in the equation, which weakens the effect of this variable, at least when dealing with typically encountered gases (O_2, CO_2, N_2, CO).

For simplicity, the two gas-related factors are substituted by a single factor, named the diffusion coefficient. The diffusion coefficient is essentially the **solubility** divided by the square root of MW. This single factor summarizes the gas properties that are implicated in flow calculations. Since MW is not as important, diffusion coefficient depends more on gas solubility. Oxygen is designated as a reference with a coefficient of 1.

Gas	O_2	CO_2	CO
Diffusion Coefficient	1	20	0.8

5. الفرق بين الغازات:
- ثاني أكسيد الكربون لديه نفاذية أكبر 20 مرة من الأوكسجين عبر الأغشية. هذا يعني أن ثاني أكسيد الكربون ينتقل بسهولة أكبر من الأوكسجين، ويرجع ذلك إلى خصائصه الفيزيائية (مثل الحجم الجزيئي).

6. معامل الانتشار (Diffusion Coefficient):
- معامل الانتشار هو مقياس للسهولة التي ينتشر بها الغاز عبر الغشاء التنفسي.
- الأوكسجين يُعتبر مرجعية بمعامل انتشار يساوي 1.
- في المقابل، ثاني أكسيد الكربون لديه معامل انتشار 20، مما يعني أنه ينتقل عبر الغشاء أسرع 20 مرة من الأوكسجين.
- أول أكسيد الكربون لديه معامل انتشار 0.8، مما يعني أنه ينتقل ببطء أكبر من ثاني أكسيد الكربون ولكن أسرع من الأوكسجين.

7. تلخيص الغازات ومعاملات الانتشار:
- الأوكسجين (O_2): معامل الانتشار = 1.
- ثاني أكسيد الكربون (CO_2): معامل الانتشار = 20.
- أول أكسيد الكربون (CO): معامل الانتشار = 0.8.

الخلاصة:
- تدفق الأوكسجين عبر الغشاء التنفسي يعتمد على الضغط الجزئي (فرق الضغط) و النفاذية.
- النفاذية تعتمد على سمك الغشاء ومساحة سطحه، بالإضافة إلى خصائص الغاز مثل القابلية للذوبان والوزن الجزيئي.
- ثاني أكسيد الكربون يمر عبر الغشاء بسهولة أكبر من الأوكسجين بسبب خصائصه الفيزيائية.
هذه الصورة توضح كيفية تحديد تدفق الأوكسجين عبر الغشاء التنفسي بناءً على مجموعة من العوامل الفيزيائية والكيميائية، مع التركيز على أهمية النفاذية في تسهيل التبادل الغازي

الي استفاد من هل شرح ياريت يدعي لجدتي بالرحمة والمغفرة 🤍