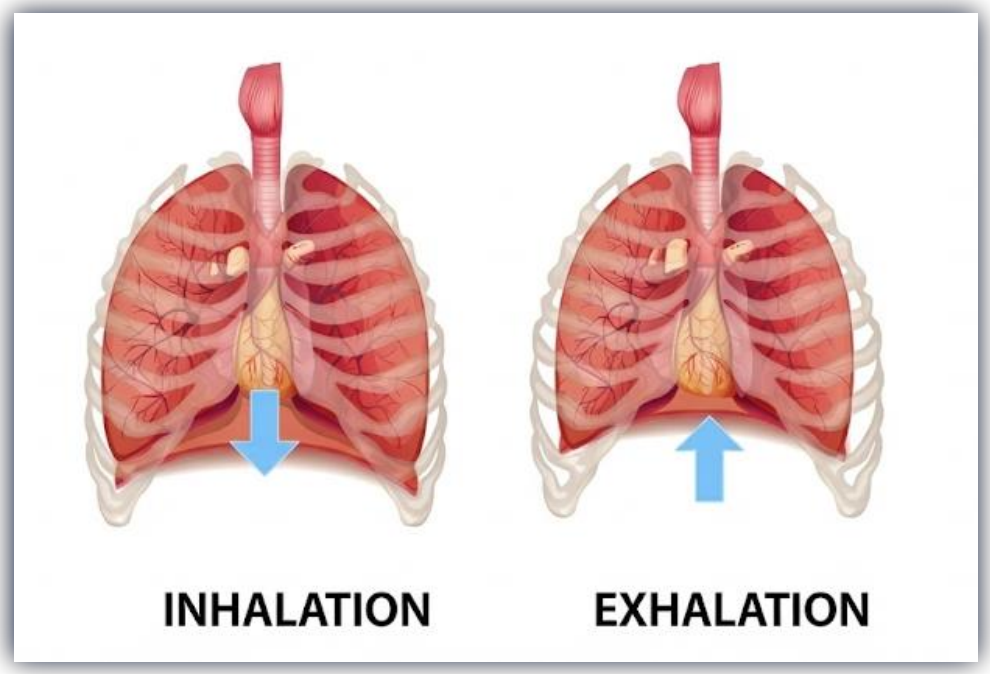
Respiratory System Physiology

Lecture 2

Dr. Yanal Shafagoj



Comprehensive File

Done By:

Almothana Khalil

Mohammad Mahasneh

Gas Exchange

1.الدورة الدموية: الدم يدخل الشعيرات الدموية قرب الحويصلات الهوائية في الرئتين، حيث يحدث تبادل الغازات (الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون) بين الدم والحويصلات الهوائية. بعد ذلك، يعود الدم إلى الدورة الدموية

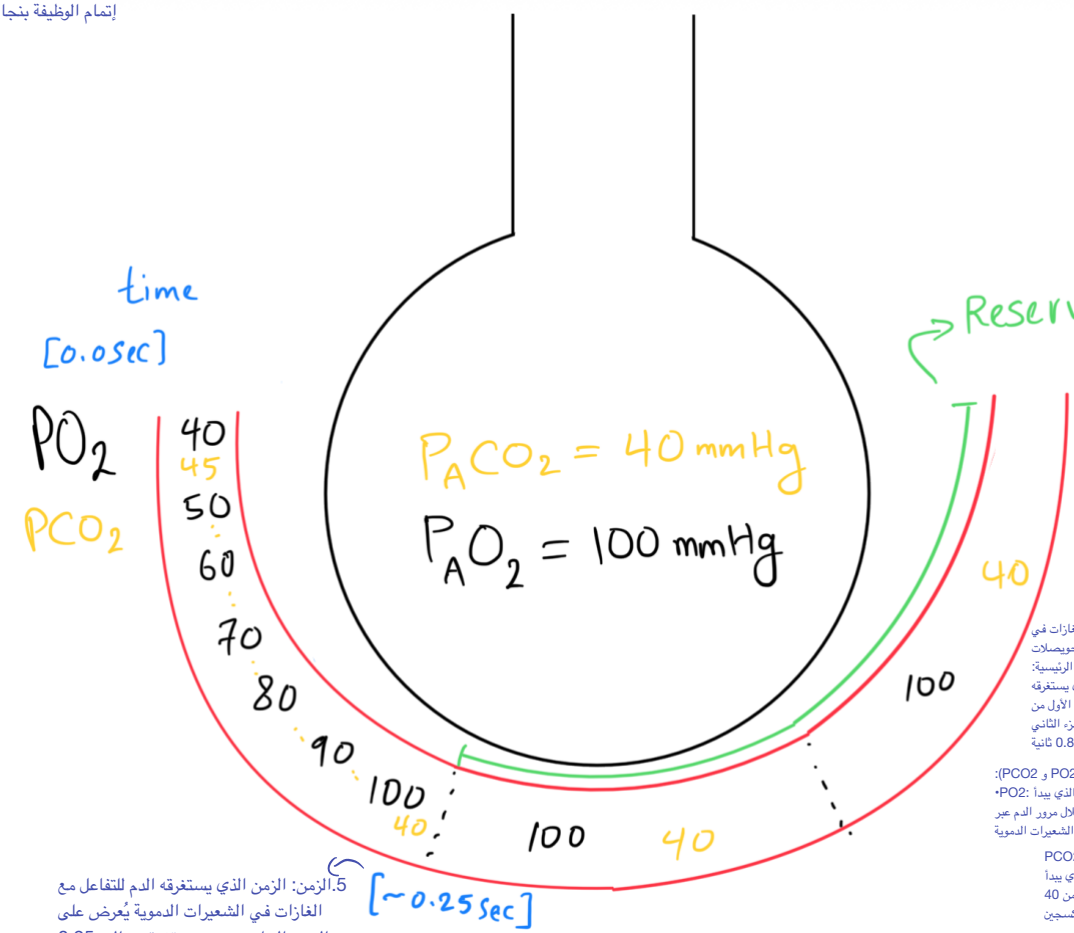
2.تركيب الدم بعد تبادل الغازات: يتعين أن يكون تكوين الدم (خصوصًا مستويات الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون) في نطاقات طبيعية كما تم مناقشته في المحاضرات السابقة. على وجه الخصوص، يجب أن تكون قيم الأوكسجين (PO2) 100 mmHg، وقيم ثاني أكسيد الكربون (PCO2) 40 mmHg

As you can see in the image below, blood enters the capillaries near the alveoli (where gas exchange occurs) and then exits back to the circulation. The post-capillary composition of blood here must have the ABGs discussed in the last lecture in normal ranges (our focus here is on oxygen and carbon dioxide: PO_2 = 100, PCO_2 = 40 [mmHg]).

An interesting fact is that in normal situations, these desired conditions (ABG values) are met just after the blood passes about 1/3 of the alveolar capillaries, meaning that the remaining 2/3 of the capillaries are in equilibrium, where exchange between the alveoli and the capillaries has no net DF (similar pressures across). In other words, 2/3 of the capillaries are kept as a reserve in case the first 1/3 could not fulfil the reconditioning function of the lungs (fixing PO_2 and PCO_2 values in blood).

3.توزيع الوظيفة في الشعيرات الدموية:
•الثلث الأول من الشعيرات الدموية: يحدث فيه التبادل الفعّال للغازات. حيث يتم امتصاص الأوكسجين وإفراز ثاني أكسيد الكربون من الدم.
•الثلثين المتبقيين من الشعيرات الدموية: تعمل كاحتياطي لضمان عملية التكييف بين الدم والحويصلات الهوائية في حالة عدم تمكن الجزء الأول من إتمام الوظيفة بنجاح

4.الاحتياطي في الشعيرات الدموية: بعد مرور الدم عبر الثلث الأول من الشعيرات، تتوزع الغازات في الشعيرات الأخرى التي تكون في حالة توازن (أي أن الضغط الجزئي للأوكسجين وثاني أكسيد الكربون متساوي بين الدم والحويصلات الهوائية). وبالتالي، فإن الثلثين المتبقيين يعملان كاحتياطي في حال حدوث خلل في الجزء الأول من الشعيرات



هذه الصورة توضح بشكل مفصل عملية تبادل الغازات في الرئتين، وتحديدًا في الشعيرات الدموية بالقرب من الحويصلات الهوائية. إليك شرح العناصر الرئيسية:
1.الزمن (time): يشير إلى الزمن الذي يستغرقه الدم للتفاعل مع الغازات في الشعيرات الدموية. الجزء الأول من العملية يستغرق حوالي 0.25 ثانية، في حين أن الجزء الثاني يحتاج إلى حوالي 0.8 ثانية

2.الغازات (PO2 و PCO2):
•PO2: هو الضغط الجزئي للأوكسجين في الدم، الذي يبدأ من ٤٠ ويزداد حتى يصل ١٠٠ خلال مرور الدم عبر الشعيرات الدموية

PCO2: هو الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون في الدم، الذي يبدأ ويظل ثابتًا تقريبًا عند 40 mmHg خلال التفاعل مع الأوكسجين.

3.المناطق الملونة:
•الخط الأحمر: يمثل عملية تبادل الغازات في الشعيرات الدموية حيث يكون الضغط الجزئي للأوكسجين في الدم منخفضًا في البداية (40 mmHg) ويزداد تدريجيًا مع مرور الوقت حتى يصل إلى 100 mmHg.
•الخط الأخضر: يمثل الأجزاء من الشعيرات الدموية التي تعمل كاحتياطي في حالة فشل الجزء الأول في إتمام وظيفة التكييف. الضغط الجزئي للأوكسجين يبقى ثابتًا (100 mmHg) بينما يتوازن الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون عند 40 mmHg

4.الاحتياطي (Reserve): يشير إلى أن 2/3 من الشعيرات الدموية هي احتياطي لضمان التوازن السليم للغازات في الدم. في حال حدوث مشكلة في الجزء الأول من الشعيرات (الذي يحدث فيه التبادل الفعلي للغازات)، فإن الجزء المتبقي من الشعيرات يقوم بتثبيت مستويات الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون في الدم

5.الزمن في الشعيرات:
•في البداية، يحدث التبادل الفعّال للغازات خلال 0.25 ثانية.
•مع مرور الدم في الجزء المتبقي من الشعيرات (الاحتياطي)، يستغرق حوالي 0.8 ثانية لتحقيق التوازن الكامل للغازات

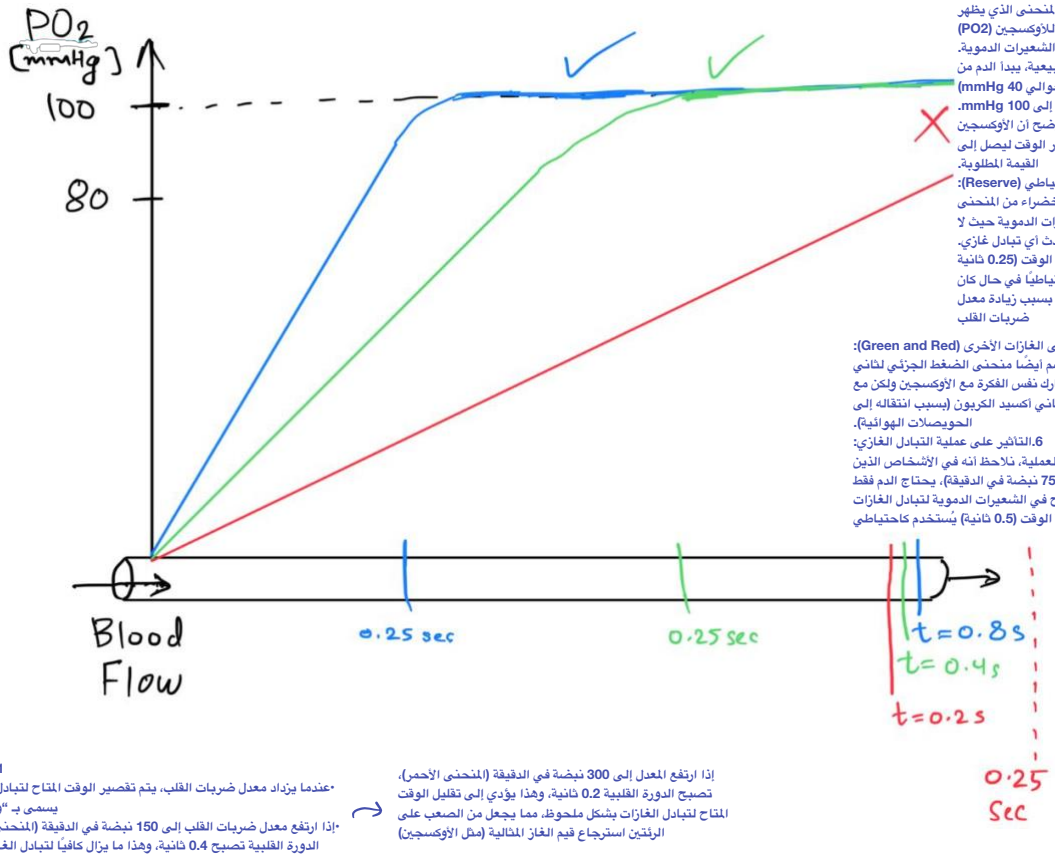
5.الزمن: الزمن الذي يستغرقه الدم للتفاعل مع الغازات في الشعيرات الدموية يُعرض على الرسم البياني، حيث يستغرق حوالي 0.25 ثانية لتبادل الغازات في الجزء الأول، ويمتد إلى 0.8 ثانية لتغطية باقي الشعيرات كاحتياطي

هذه الصورة تشرح كيفية إعادة تكييف الدم في الشعيرات الدموية في الرئتين، مع التركيز على الأوكسجين (PO_2) وثاني أكسيد الكربون (PCO_2). إليك شرح تفصيلي للعناصر الموجودة في الصورة:

1.الوقت والتدفق الدموي (Blood Flow and Time):
•يتم تقسيم الزمن إلى فترات زمنية قصيرة، ويبدأ الرسم البياني بتدفق الدم (على المحور الأفقي) عبر الشعيرات الدموية في الرئتين.
•الجزء الأول من الزمن هو 0.25 ثانية، ثم تليها 0.25 ثانية أخرى، ثم آخر 0.3 ثانية تُخصص كاحتياطي (مع عدم حدوث تبادل غازات)

The image below shows how capillary blood is reconditioned with time (only P_aO_2 is shown, but P_aCO_2 shares a similar concept but with the slope decreasing since CO_2 is lost from the blood to the alveoli). Normally, the blood passes through the alveolar capillaries in about 0.8 seconds, considering that the heart rate in a normal person is about 75 bpm (blue curve). This 0.8-second interval resembles one cardiac cycle. However, if the heart rate is increased, the cardiac cycle will be shortened, leading to less time for gas exchange in the capillaries. Thankfully, the gas exchange in the lungs only needs 1/3 of the time available in a 75-bpm-beating person, which is 0.25-0.3 seconds, so the rest of the 0.8 seconds is a reserve, with no net gas exchange (gas pressures in this portion are equal to systemic arterial values).

2.التكيف مع الدورة القلبية (Cardiac Cycle):
•عند الشخص الطبيعي الذي يضرب قلبه بمعدل 75 نبضة في الدقيقة، يستغرق الدم حوالي 0.8 ثانية للمرور عبر الشعيرات الدموية (المنحنى الأزرق). تمثل هذه 0.8 ثانية دورة قلبية كاملة.
•إذا تم زيادة معدل ضربات القلب، سيتم تقصير الدورة القلبية، مما يؤدي إلى قضاء وقت أقل لتبادل الغازات في الشعيرات الدموية



3.منحنى الأوكسجين (PO_2):
•تم عرض هذا المنحنى الذي يظهر كيف يرتفع الضغط الجزئي للأوكسجين (PO_2) أثناء مروره عبر الشعيرات الدموية.
•في الظروف الطبيعية، يبدأ الدم من مستوى منخفض للأوكسجين (حوالي 40 mmHg) ويزداد تدريجيًا حتى يصل إلى 100 mmHg.
•الخط الأزرق يوضح أن الأوكسجين يتبدل بشكل تدريجي مع مرور الوقت ليصل إلى القيمة المطلوبة.

4.الاحتياطي (Reserve):
•تشير الأجزاء الخضراء من المنحنى إلى الجزء الاحتياطي من الشعيرات الدموية حيث لا يحدث أي تبادل غازي.
•هذه الفترات من الوقت (0.25 ثانية المتبقية من الدورة) تُعتبر احتياطيًا في حال كان هناك تقصير في التبادل الغازي بسبب زيادة معدل ضربات القلب

5.منحنى الغازات الأخرى (Green and Red):
•يظهر في الرسم أيضًا منحنى الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون (PCO_2) الذي يشارك نفس الفكرة مع الأوكسجين ولكن مع انخفاض الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون (بسبب انتقاله إلى الحويصلات الهوائية).

6.التأثير على عملية التبادل الغازي:
•من خلال هذه العملية، نلاحظ أنه في الأشخاص الذين لديهم معدل ضربات قلب طبيعي (75 نبضة في الدقيقة)، يحتاج الدم فقط إلى 0.25-0.3 ثانية من الزمن المتاح في الشعيرات الدموية لتبادل الغازات بفعالية. وبقية الوقت (0.5 ثانية) يُستخدم كاحتياطي

1.الدورة القلبية:
•عندما يزداد معدل ضربات القلب، يتم تقصير الوقت المتاح لتبادل الغازات (أو ما يسمى بـ "وقت الانتشار").
•إذا ارتفع معدل ضربات القلب إلى 150 نبضة في الدقيقة (المنحنى الأخضر)، فإن الدورة القلبية تصبح 0.4 ثانية، وهذا ما يزال كافيًا لتبادل الغازات بشكل جيد

إذا ارتفع المعدل إلى 300 نبضة في الدقيقة (المنحنى الأحمر)، تصبح الدورة القلبية 0.2 ثانية، وهذا يؤدي إلى تقليل الوقت المتاح لتبادل الغازات بشكل ملحوظ، مما يجعل من الصعب على الرئتين استرجاع قيم الغاز المثالية (مثل الأوكسجين)

The lungs will continue to function normally until the heart rate increases so much that the cardiac cycle (gas diffusion time available) becomes less than the time needed for full reconditioning of the blood (< 0.25-0.3 seconds). For example, if the heart rate increases to 150 bpm (green curve), the cardiac cycle will become 0.4 seconds, which is still enough for adequate gas exchange. However, if the heart rate reaches a very high number, say 300 bpm (red curve), the cardiac cycle will become 0.2 seconds, which is less than 0.25 seconds, meaning that ABGs cannot be fully returned to desired values. In this case, P_aO_2 will be less than 100 mmHg (80 mmHg for example). This means that the reserve (2/3) was fully used and still the lungs could not perform the required function (available is < 1/3), and this is why when P_aO_2 is significantly lower than 100 mmHg. The patient would be admitted to the hospital for respiratory assistance.

2.نتائج زيادة معدل ضربات القلب:
•إذا كانت الدورة القلبية قصيرة جدًا (أقل من 0.25 ثانية)، لن يتمكن الجسم من استعادة قيم الغاز بشكل صحيح.
•في هذه الحالة، يصبح الضغط الجزئي للأوكسجين (PaO_2) أقل من 100 mmHg (وقد يصل إلى 80 mmHg مثلاً).

3.الاحتياطي في الرئتين:
•بالرغم من أن 2/3 من الشعيرات الدموية تعمل كاحتياطي، إذا كان معدل ضربات القلب مرتفعًا جدًا (مثل 300 bpm)، فلا يزال الوقت غير كافٍ لتنفيذ وظيفة الرئتين بشكل صحيح، ما يؤدي إلى انخفاض شديد في PaO_2

4.التبعات السريرية:
•في مثل هذه الحالات، حيث يكون PaO_2 أقل بكثير من 100 mmHg، قد يحتاج المريض إلى مساعدة تنفسية في المستشفى لضمان الحصول على الأوكسجين بشكل كافٍ

توضح الصورة كيف يؤثر معدل ضربات القلب المرتفع على وظيفة القلب والشرايين في الجسم، بالإضافة إلى تأثيره على تبادل الغازات في الرئتين. إليك شرحًا تفصيليًا للمحتوى

عواقب زيادة معدل ضربات القلب:

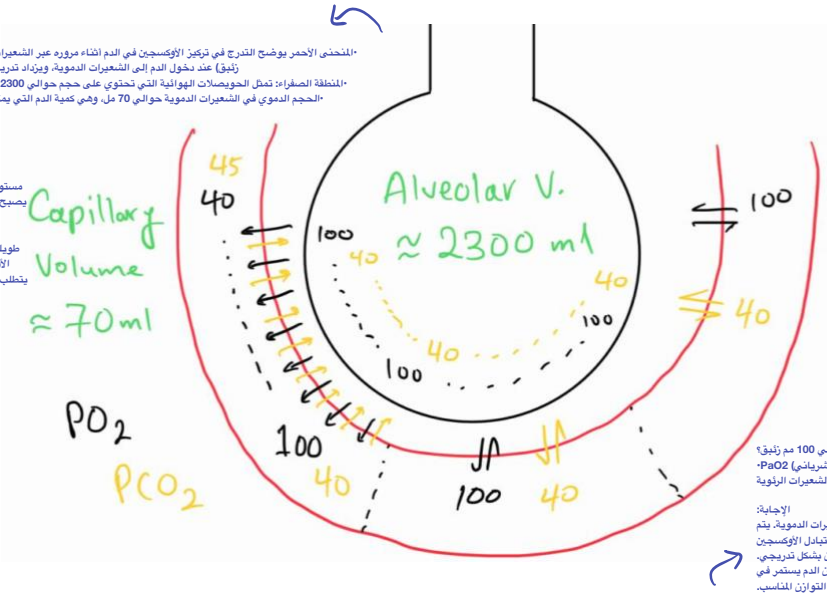
So, a very high heart rate has severe consequences, 3 of which are summarized below:

1.حجم ضربات القلب غير كافٍ وبالتالي غير كافٍ في النتاج القلبي:
•عندما يزداد معدل ضربات القلب بشكل كبير، يقل حجم الدم الذي يتم ضخه مع كل نبضة (حجم الضربة)، مما يؤدي إلى انخفاض النتاج القلبي، وهو كمية الدم التي يضخها القلب في الدقيقة

1. Insufficient stroke volume and thus insufficient cardiac output.
2. Decreased coronary perfusion (recall that blood flow is pulsatile and that opposite to other vessels, the coronaries are mainly perfused during the diastole (100% diastolic perfusion vs 65% systolic; other vessels are the opposite)).
3. Inadequate reconditioning of blood in the alveoli, as discussed above.

2.انخفاض تدفق الدم التاجي:
•تدفق الدم في الأوعية التاجية يحدث بشكل أساسي في فترة الانبساط (عندما يكون القلب في وضع الاسترخاء بين النبضات). في هذه الفترة، تحصل الأوعية التاجية على إمدادها الكامل من الدم (100% تدفق ديستولي). بينما في باقي الأوعية الدموية الأخرى، يحدث تدفق الدم بشكل أكبر أثناء الانقباض (عند تقلص القلب).
•عندما يزداد معدل ضربات القلب، يقل تدفق الدم إلى الأوعية التاجية بشكل عام، مما يضر بتغذية القلب

3.إعادة تكييف الدم في الحويصلات الهوائية غير كافٍ:
•كما تم مناقشته في الصور السابقة، إذا كانت فترة الدورة القلبية قصيرة جدًا (مثلما يحدث مع معدل ضربات قلب مرتفع جدًا)، لا يتمكن الدم من البقاء في الشعيرات الدموية الرئوية لفترة كافية للتفاعل مع الغازات، مما يؤدي إلى عدم التبادل الكافي للأوكسجين وثاني أكسيد الكربون.



التفاصيل البيانية:
•المنحنى الأحمر يوضح التدرج في تركيز الأوكسجين في الدم أثناء مروره عبر الشعيرات الدموية. يبدأ تركيز الأوكسجين منخفضًا (40 مم زئبق) عند دخول الدم إلى الشعيرات الدموية، ويزداد تدريجيًا ليصل إلى 100 مم زئبق عند نهاية الشعيرات.
•المنطقة الصفراء: تمثل الحويصلات الهوائية التي تحتوي على حجم حوالي 2300 مل من الهواء، حيث يحدث تبادل الغازات مع الدم.
•الحجم الدموي في الشعيرات الدموية حوالي 70 مل، وهي كمية الدم التي يمكن أن تحتوي على أكسجين وثاني أكسيد الكربون وتبادلها مع الحويصلات الهوائية

النتيجة السريرية:
•عندما يزداد معدل ضربات القلب إلى مستويات عالية جدًا (مثل 150-300 نبضة في الدقيقة)، يصبح الوقت المتاح لتبادل الغازات محدودًا، مما يقلل من كفاءة التبادل الغازي.
•في حالة استمرار هذا الوضع لفترة طويلة، قد تتسبب هذه الظروف في انخفاض مستويات الأوكسجين في الدم (PaO2) تحت 100 مم زئبق، مما يتطلب التدخل الطبي مثل الدعم التنفسي في المستشفى

السؤال المهم: لماذا يبقى مستوى الأوكسجين في الحويصلات الهوائية (PaO2) ثابتًا عند حوالي 100 مم زئبق؟ في الحويصلات الهوائية يكون ثابتًا حول 100 مم زئبق، رغم أن (ضغط الأوكسجين في الدم الشريانى) PaO2• تركيز الأوكسجين في الدم (الموجود في الشعيرات الدموية) يزداد تدريجيًا أثناء مرور الدم عبر الشعيرات الرئوية

الإجابة:
•السبب يكمن في الاختلاف في الحجم بين الحويصلات الهوائية والشعيرات الدموية. يتم تبادل الغازات بين الحويصلات الهوائية والشعيرات الدموية عبر الجدران الرقيقة، حيث يتم تبادل الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون بشكل تدريجي.
•يتم الحفاظ على مستوى ثابت من الأوكسجين في الحويصلات الهوائية لأن الدم يستمر في سحب الأوكسجين من الحويصلات بينما يتدفق عبر الشعيرات الدموية، حتى يصل إلى التوازن المناسب.

An important question arises: why is alveolar O_2 (P_AO_2) constant at about 100 mmHg, while blood O_2 is gradually increasing along the capillaries in the lung?

The answer lies in the volume difference between compartments (see the figure above).

The blood volume in the body is about 5 liters in a 70-Kg person. These 5 liters are distributed in the following pattern:

حجم الدم في الجسم:
•حجم الدم الإجمالي في الجسم هو حوالي 5 لترات في شخص وزنه 70 كجم. هذا الدم موزع على الأجزاء المختلفة للجسم كما يلي

- ✓ 3000 ml in systemic veins (blood reservoir)
- ✓ 750 ml in systemic arteries
- ✓ 350 ml in systemic capillaries
- ✓ 350 ml in cardiac chambers
- 450 ml in the pulmonary circulation, distributed as follows:
  - 190 ml in pulmonary veins; 190 ml in pulmonary arteries
  - **70 ml in pulmonary capillaries** (our concern here!)

•450 مل في الدورة الدموية الرئوية (التي تشمل الأوعية الدموية الرئوية). يتم توزيع هذه الـ 450 مل كالتالي:
190 مل في الأوردة الرئوية.
190 مل في الشرايين الرئوية.
70 مل في الشعيرات الدموية الرئوية (التي هي محور اهتمامنا هنا!)

The total alveolar volume is about 2300 ml, which is much larger than the 70 ml present in the pulmonary capillaries. This means that the effect of alveolar PO_2 on blood PO_2 is much larger than the effect of blood PO_2 on alveolar PO_2. So P_AO_2 is essentially constant and continuously renewed by breathing, and oxygen uptake by the blood is negligible, while blood PO_2 changes from 40 to 100 mmHg gradually as blood passes through the respiratory zone of the lungs, reaching equilibrium after the first part of the capillary.

حجم الدم في الشعيرات الدموية الرئوية:
•الحجم الموجود في الشعيرات الدموية الرئوية هو 70 مل، وهو جزء صغير من الحجم الكلي للدم الموجود في الدورة الدموية الرئوية (450 مل).
•حجم الحويصلات الهوائية في الرئتين يُقدر بحوالي 2300 مل، وهو أكبر بكثير من حجم الدم الموجود في الشعيرات الدموية الرئوية

التأثير على تبادل الغازات:
•الحويصلات الهوائية تؤثر بشكل أكبر على PaO2 (ضغط الأوكسجين في الدم) مقارنة بالشعيرات الدموية الرئوية. هذا يعني أن التبادل بين الدم والحويصلات الهوائية يمكن أن يؤدي إلى تغيرات في مستوى الأوكسجين في الدم بشكل كبير.
•PaO2 في الحويصلات الهوائية ثابت تقريبًا ويبلغ حوالي 100 مم زئبق، في حين أن (PO2) مستوى الأوكسجين في الدم يبدأ عند 40 مم زئبق، ويزداد تدريجيًا مع مرور الدم في الحويصلات بعد مرور الدم PaO2 عبر الشعيرات الدموية الرئوية، ليصل إلى توازن مع في الجزء الأول من الشعيرات

التفسير البيولوجي:
•PaO2 في الدم يرتفع تدريجيًا من 40 إلى 100 مم زئبق أثناء مرور الدم عبر الشعيرات الرئوية. يُظهر هذا التفاعل كيف أن تبادل الغازات بين الدم والحويصلات الهوائية يعمل على تحسين أكسجة الدم.
•بعد الجزء الأول من الشعيرات الدموية (حيث يحدث التبادل الفعلي للغازات)، يصبح مستوى الأوكسجين في الدم متوازنًا مع الأوكسجين في الحويصلات الهوائية، مما يعني أن تأثير الدم على PaO2 يصبح ضئيلاً للغاية في هذه المنطقة.

The same applies to P_ACO_2 (= 40 mmHg) and blood PCO_2 (gradually changes from 45 to 40 mmHg as blood passes, and it reaches an equilibrium (P_aCO_2 = 40 mmHg)).

Total Body Water (TBW) = 60% * Body Weight = 42 L in a 70-Kg person.

التوزيع الكلي للماء في الجسم:
•إجمالي الماء في الجسم: 42 لتراً في شخص وزنه 70 كجم (نسبة الماء في الجسم = 60%).

The 42 liters are distributed as follows:

- 28 liters are intracellular fluids
- 14 liters are extracellular fluids
  - 3 liters are plasma volume
  - 11 liters are interstitial volume

28 لتراً من الماء موجودة في الخلايا (السوائل الخلوية).
14 لتراً في السوائل خارج الخلايا، منها:
3 لترات في البلازما.
11 لتراً في السائل الخلالي (المحيط بين الخلايا).

تبادل الغازات في الشعيرات الدموية النظامية:
•في الشعيرات الدموية النظامية، يحدث تبادل الغازات بين الدم والأنسجة مثلما يحدث في الشعيرات الدموية الرئوية، لكن الفرق هو أن الأوكسجين ينتقل من الدم إلى الأنسجة لاستخدامه من قبل الخلايا، بينما يتحرك ثاني أكسيد الكربون من الخلايا إلى الدم

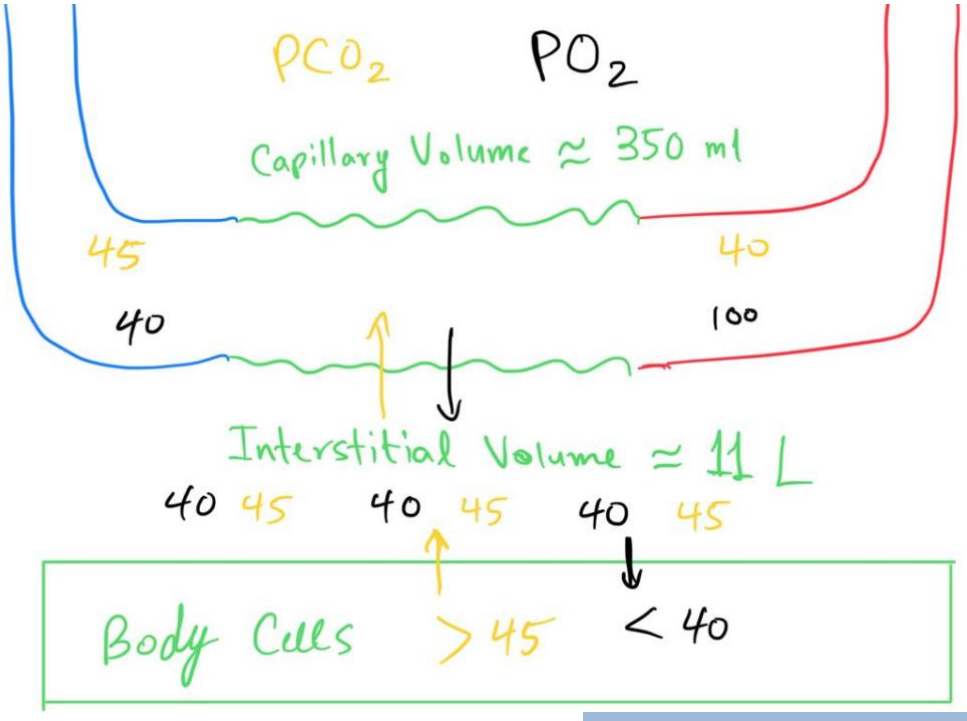
When talking about gas exchange in systemic capillaries, we have a similar process occurring between blood (350 ml) and the interstitial fluid (11000 ml).

The image below shows how oxygen passes through from blood into the interstitium and then into body cells to use it for their needs. Carbon dioxide is also shown as it passes in the opposite direction as oxygen, moving from body cells as a metabolic waste product, into the interstitium, and finally to blood for reconditioning in the lungs. For both gases to pass through these pathways, a pressure gradient across the 3 compartments must be maintained. As shown below, PO_2 is highest in arterial blood (100 mmHg), then in the interstitium (40 mmHg), and then inside cells (<40 mmHg). PCO_2 is the opposite.

الآلية والتوزيع:
•الأوكسجين (PO2) ينتقل من الدم إلى الأنسجة كما هو موضح في المنحنى الأحمر (PO2)، حيث ينتقل من الدم الذي يحتوي على مستوى أعلى من الأوكسجين (100 مم زئبق) إلى الأنسجة التي تحتوي على مستويات منخفضة من الأوكسجين (40 مم زئبق).
•ثاني أكسيد الكربون (PCO2) يتحرك في الاتجاه المعاكس، حيث ينتقل من الخلايا (التي تحتوي على مستويات مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون، أي أكثر من 45 مم زئبق) إلى الدم (الذي يحتوي على مستوى أقل، 40 مم زئبق).

التوزيع في الحيز الخلالي (Interstitial Volume):
•في الحيز الخلالي (11 لترًا)، يبقى مستوى الأوكسجين ثابتًا عند 40 مم زئبق في السائل الخلالي، بينما يرتفع مستوى ثاني أكسيد الكربون ليصل إلى 45 مم زئبق في السائل المحيط بالخلايا.
•هذا التوزيع يُظهر كيفية سحب الأوكسجين من الدم ونقله إلى الخلايا، وكذلك كيف يتم نقل ثاني أكسيد الكربون كمنتج نفايات من الخلايا إلى الدم.

الوظيفة الحيوية:
•الأوكسجين يُستخدم من قبل الخلايا (مستوى منخفض أقل من 40 مم زئبق) ليتم امتصاصه من الشعيرات الدموية.
•ثاني أكسيد الكربون، الذي ينتج عن الأنشطة الأيضية للخلايا، ينتقل من الخلايا إلى السائل الخلالي ومن ثم إلى الشعيرات الدموية ليتم نقله إلى الرئتين لإزالته



الخلاصة:
•التدرجات الضغطية للغازات (الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون) في هذه البيئة تُعد ضرورية لانتقال الغازات من الدم إلى الأنسجة والعكس. يجب الحفاظ على هذه التدرجات عبر السوائل المختلفة (الدم، السائل الخلالي، الخلايا) من أجل تسهيل التبادل الفعال للغذاء والفضلات بين الدم والخلايا.

هذا التفسير يوضح كيف يعمل جسم الإنسان على توزيع الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون عبر الجسم لضمان حصول الخلايا على الأوكسجين وإزالة ثاني أكسيد الكربون بفعالية

المنطقة الميتة التشريحية (Anatomical Dead Space):
•المنطقة الميتة التشريحية هي الجزء الأول من مجرى الهواء (من 0-16 تقسيمًا)، ولا يتم فيه تبادل الغازات، بل يتم فقط ترطيب الهواء وتسخينه وتوجيه الأجسام الأجنبية إلى الخارج.
•الهواء في هذه المنطقة يحتوي على تركيبة غازية مشابهة لتلك الموجودة في الحويصلات الهوائية (مثل PO2 = 100 و PCO2 = 40 مم زئبق)، ولكنه لا يشارك في تبادل الغازات

As discussed in the previous lecture, the airway starts with the conductive zone (0-16th divisions), which is also called the anatomical dead zone, which is not accurate because this zone (1) humidifies air, (2) warms air, and (3) secretes protective mucus and propels foreign bodies outside.

حجم التنفس (Tidal Volume):
•عند الاسترخاء، يتنفس الشخص بشكل طبيعي حوالي 500 مل من الهواء في كل نفس، وهذا يسمى "حجم التنفس".
•الهواء المستنشق يحتوي على أوكسجين جديد (PO2 = 150 مم زئبق) وثاني أكسيد الكربون منخفض (PCO2 = 0)، بينما يحتوي أيضًا على بخار ماء (PH2O = 47 مم زئبق)

The composition of air in this zone is variable, depending on the phase of the breathing cycle. At rest, a normal person inhales about 500 ml and exhales the same volume per one breath; this amount is referred to as the **tidal volume**. At the end of expiration, the composition of air in the "anatomical dead space" is similar to alveolar air (PO_2 = 100; PCO_2 = 40 [mmHg]).

التنفس يتم من خلال 150 مل من الهواء الذي يدخل أولاً إلى المنطقة الميتة التشريحية (وهو الهواء القديم الذي يخرج من الرئتين)، بينما الـ 350 مل المتبقية تختلط مع الهواء في الحويصلات الهوائية، مما يساعد في تجديد الأوكسجين في الدم

During inspiration, the inhaled fresh air (PO_2 = 150; PCO_2 = 0; PH_2O = 47 [mmHg]) is in total about 500 ml (tidal volume). The first 150 ml that enters only displaces the "old" air from the conductive zone back into the alveoli, while the rest of the tidal volume (350 ml) is the part that actually mixes with the alveolar air, maintaining the continuous renewal for the gases.

كيف يساهم التنفس الاصطناعي في تجديد الغازات؟:
•في التنفس الاصطناعي (CPR)، يُدخل المنقذ الهواء الزفير إلى رئتي المريض. على الرغم من أن الهواء الزفير ليس هو نفس هواء الجو المحيط (الذي يحتوي على نسبة أقل من الأوكسجين)، إلا أنه يحتوي على قيمة سريرية

This orientation helps explain why CPR is effective. During mouth-to-mouth ventilation, the rescuer delivers expired air into the patient's lungs. Although expired air is not atmospheric air, it still has clinical value.

الهواء الزفير عبارة عن خليط من هواء الحويصلات الهوائية (350 مل من الأوكسجين عند 100 مم زئبق) مع الهواء الميت التشريحي (150 مل عند 150 مم زئبق)

Expired air is a mixture of alveolar air (350 ml; 100 mmHg O_2; 40 mmHg CO_2) and dead-space air (150 ml; 150 mmHg O_2; no CO_2); therefore, its PO_2 (116 mmHg) is higher and its PCO_2 (28 mmHg) is lower than pure alveolar gas (P_AO_2 = 100; P_ACO_2 = 40 [mmHg]).

تركيبة الغاز في الهواء الزفير:
•الأوكسجين في الهواء الزفير (PO2): 116 مم زئبق. يتأثر هذا المعدل من الهواء الممزوج بين الهواء الحويصلي (100 مم زئبق) والهواء الميت التشريحي (150 مم زئبق)، مما يرفع مستوى الأوكسجين في الهواء الزفير.
•ثاني أكسيد الكربون (PCO2): 28 مم زئبق. تكون نسبة ثاني أكسيد الكربون في الهواء الزفير أقل من المستوى الموجود في الهواء الحويصلي (40 مم زئبق)، حيث يتم خلط الهواء الزفير مع الهواء الميت التشريحي الذي يحتوي على معدلات منخفضة من ثاني أكسيد الكربون.

Calculating gas pressures in expired air is done by a weighted average of both alveolar and dead-space air contents (see the equations below).

الحسابات الرياضية:
•يتم حساب ضغط الأوكسجين (PEO2) و ضغط ثاني اكسيد الكربون (PECO2) في الهواء الزفير عن طريق المتوسط المرجح بين الهواء الحويصلي والهواء الميت التشريحي، كما يلي

$$P\bar{E}O2 = \frac{350\ ml * 100\ mmHg + 150\ ml * 150\ mmHg}{500\ ml} \approx \mathbf{116\ mmHg}$$

$$P\bar{E}CO2 = \frac{350\ ml * 40\ mmHg + 150\ ml * 0\ mmHg}{500\ ml} \approx \mathbf{28\ mmHg}$$

The subscript "E-bar" means "mixed expired", which relates to expired air composition.

This composition makes for a driving force (DF) that maintains sufficient oxygen diffusion into pulmonary capillary blood and allows CO_2 elimination, making expired air adequate for temporary ventilation during CPR.

القيمة السريرية للتنفس الاصطناعي (CPR):
•هذه التركيبة توفر دافعًا (DF) يساعد في الحفاظ على تجديد الأوكسجين في الدم من خلال الشعيرات الدموية الرئوية، مما يسمح بإزالة ثاني أكسيد الكربون.
•حتى لو كان هواء الزفير ليس هو نفس الهواء المحيط (لأنه يحتوي على نسبة أقل من الأوكسجين)، فإنه لا يزال يحتوي على الأوكسجين الكافي لدعم وظيفة التنفس بشكل مؤقت أثناء إجراء التنفس الاصطناعي (CPR)

الخلاصة:
•التنفس الاصطناعي من خلال التنفس الفموي-الفموي (Mouth-to-Mouth CPR) فعال لأن الهواء الزفير يحتوي على كمية كافية من الأوكسجين وكمية منخفضة من ثاني أكسيد الكربون، مما يساعد في الحفاظ على وظائف الجسم الحيوية وتوفير الأوكسجين للمريض

Boyle's Law of Gases

مفهوم القانون:
1.الغازات في حركة دائمة: عندما يكون لدينا كمية معينة من الغاز في حاوية، فإن جزيئات الغاز تكون في حركة مستمرة، وتتصادم بشكل متكرر مع جدران الحاوية. هذه التصادمات تولد قوة تُطبَّق على الجدار

Imagine that there is a specific mass of a gas contained in a sphere container with a specific volume. As the gas molecules are in constant movement, they are in continuous collisions with the wall of the sphere, and these collisions produce a force applied to the surface area of the sphere wall.

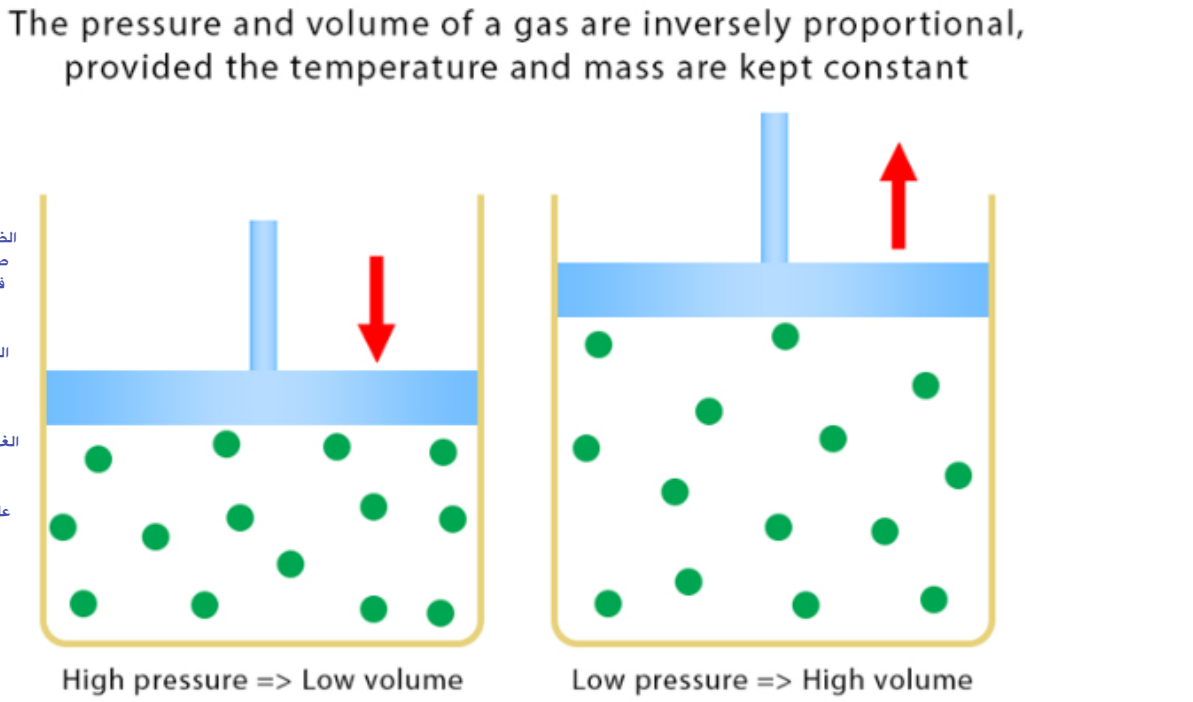
We can calculate the pressure of this gas; remember that $P = \frac{Force}{Area}$.

If the same gas mass now is contained in a bigger sphere (increased volume), the same number of collisions is happening against a bigger surface area, thus the gas pressure will decrease, and this is the concept of **Boyle's law of gases which states that "*for a fixed amount of gas at a constant temperature, its pressure and volume are inversely proportional*".**

3.تأثير زيادة الحجم على الضغط: عندما يتم وضع نفس الكمية من الغاز في حاوية أكبر (أي زيادة الحجم)، ستحدث نفس التصادمات ولكن ضد مساحة سطحية أكبر. وبالتالي، سيقل الضغط لأن التصادمات ستكون أكثر انتشارًا على مساحة أكبر.

قانون بويل:

ينص القانون على أنه:
"للكمية الثابتة من الغاز عند درجة حرارة ثابتة، يكون الضغط والحجم مرتبطين بشكل عكسي". أي أنه كلما زاد الحجم، قل الضغط، والعكس صحيح.



الرسم التوضيحي:
•في الرسم، يظهر أن الضغط العالي يؤدي إلى حجم صغير (أي أن الغاز مضغوط)، في حين أن الضغط المنخفض يؤدي إلى حجم أكبر.
•هذا يوضح العلاقة العكسية بين الضغط والحجم.

مثال توضيحي:
•إذا ضغطنا على الغاز (زيادة الضغط)، سيتقلص حجمه.
•إذا خففنا الضغط على الغاز (انخفاض الضغط)، سيتوسع حجمه

$$P_1V_1 = P_2V_2 = Constant$$

المعادلة الرياضية:

يتم التعبير عن العلاقة بين الضغط والحجم رياضيًا بواسطة المعادلة:
P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{ثابت}
حيث:

- هما الضغط في حالتين مختلفتين P_2 و P_1.
- هما الحجم في حالتين مختلفتين V_2 و V_1.

Mechanics of breathing: How do we breathe?

Inspiration

الاستنشاق (Inspiration):
الاستنشاق هو عملية دخول الهواء إلى الرئتين. بما أن الاستنشاق هو تدفق للهواء، فإنه يخضع لقانون أوم الذي ينص على أن:
$\text{Flow} = \frac{\Delta P}{R}$
حيث:
- ΔP هو الفرق في الضغط بين الهواء الخارجي والحويصلات الهوائية.
- R هو المقاومة.

إذا كان هناك ضغط صفر في الحويصلات الهوائية والهواء الخارجي، فلن يكون هناك تدفق حتى وإن كانت المقاومة صفراً. وبالتالي، يجب أن يكون الضغط الخارجي أكبر من الضغط الحويصلي لكي يحدث التدفق

Inspiration is the process of air entering the lung. As inspiration is a flow, it is guided by ohms law; remember ($\boldsymbol{Flow = \frac{DF}{R}}$ $\boldsymbol{[Ohm's\ Law]}$); DF is generated from the pressure difference between the outside air and the alveoli. If the two compartments had a pressure of zero, there will be no flow even if the resistance is zero, so to generate this pressure gradient, the outside pressure must be higher than the alveolar pressure. **During inspiration**, the pressure **gradient** will be **in favor of** air entering the lungs until **the end of inspiration**, where the **gradient** of pressure will be **zero** as the equilibrium state is reached.

أثناء الاستنشاق:
- يتكون تدرج الضغط لصالح دخول الهواء إلى الرئتين، أي أن الضغط الخارجي أكبر من الضغط داخل الرئتين.
- في نهاية الاستنشاق، يتوقف تدرج الضغط ويصبح صفراً، وهذا يعني أن الهواء قد دخل بالكامل إلى الرئتين

*From now on, we set atmospheric pressure to **0** as a reference point to simplify calculations. Negative values (-) indicate suction (Inhalation). Positive values (+) indicate pushing (Exhalation).*

الضغط الجوي:
في الشروحات التالية، يتم تعيين الضغط الجوي كـ 0 لتبسيط الحسابات.
- القيم السلبية تشير إلى السحب (أي الاستنشاق).
- القيم الإيجابية تشير إلى الدفع (أي الزفير)

In clinical settings, external air pressure can be controlled by a respirator/ventilator to aid in inspiration and expiration by creating a pressure gradient between outside air and the alveoli. However, this is not what happens in a normal human.

في الحالات السريرية:
يمكن التحكم في الضغط الجوي باستخدام جهاز التنفس الاصطناعي، حيث يتم تعديل الضغط بين الهواء الخارجي والحويصلات الهوائية لتسهيل الاستنشاق والزفير. لكن في الجسم البشري، لا يتم استخدام جهاز التنفس، حيث يتم تعديل الضغط داخل الحويصلات الهوائية عن طريق التحكم في حجم الحويصلات الهوائية.

Physiologically, the outside air pressure is constant; however, alveolar pressure can be modified by controlling the volume of the alveoli. When the alveoli expand, they increase in volume and their pressure decreases (Boyle's Law) relative to the outside pressure, generating a pressure gradient that leads to the inflow of the air into the lungs, increasing alveolar pressure until equilibrium is reached again ($\Delta P = zero$).

قانون بويل:
عند توسع الحويصلات الهوائية، يقل الضغط داخلها (طبقاً لقانون بويل)، مما يؤدي إلى حدوث تدرج ضغط يسمح بدخول الهواء إلى الرئتين حتى الوصول إلى التوازن بين الضغطين

How do the alveoli increase in volume?

The lung is surrounded by the pleural cavity, which is a closed chamber. Intrapleural pressure is -4 mmHg, and when it drops to -6 mmHg, the lungs will immediately inflate; this is achieved when the diaphragm contracts as the contraction makes the diaphragm descend down increasing the volume of the thoracic cavity, which in turn makes the intrapleural pressure **more negative**, and increases intra-abdominal pressure. This contraction will increase the pressure on the abdominal part of the IVC, while the expansion of the thoracic cavity decreases the pressure on the thoracic part of IVC, thus increasing the pressure gradient that aids in venous return.

كيفية زيادة حجم الحويصلات الهوائية؟:
- تحيط الرئتين الحفرة الجنبية (Pleural Cavity)، وهي غرفة مغلقة.
- عندما ينخفض الضغط داخل الغشاء الجنبي من -4 mmHg إلى -6 mmHg، يتمدد الرئتين فوراً.
- هذا يحدث عندما ينقبض الحجاب الحاجز، مما يؤدي إلى زيادة حجم التجويف الصدري، وبالتالي يجعل الضغط داخل الصدر أكثر سلبية.

الضغط داخل التجويف البطني:
- زيادة ضغط التجويف البطني تؤدي إلى زيادة الضغط على الجزء البطني من الوريد الأجوف السفلي (IVC).
- وفي نفس الوقت، تقلل زيادة حجم التجويف الصدري من الضغط على الجزء الصدري من الوريد الأجوف السفلي، مما يعزز التدرج في الضغط الذي يساعد في عودة الدم الوريدي إلى القلب

الاستنتاج:

عملية الاستنشاق تعتمد على إنشاء تدرج في الضغط داخل الرئتين يتيح للهواء الدخول، ويتحقق هذا التدرج من خلال التغيرات في حجم الحويصلات الهوائية نتيجة لانقباض الحجاب الحاجز. كما أن هذه العمليات تؤثر في الضغط داخل التجويف البطني وفي عودة الدم الوريدي، مما يساهم في العمليات الحيوية الأخرى

الاستنشاق هو العملية التي يدخل فيها الهواء إلى الرئتين، ويعتمد على إنشاء تدرج في الضغط داخل التجويف الصدري، وبالتالي يمكن تلخيص عملية الاستنشاق في الخطوات التالية

Summarizing inspiration:

خطوات الاستنشاق:

1. Contraction of the diaphragm. 1.انقباض الحجاب الحاجز: يبدأ الاستنشاق عندما ينقبض الحجاب الحاجز، وهو العضلة التي تفصل بين الصدر والبطن
2. Expansion of the thoracic cavity. 2.توسع التجويف الصدري: مع انقباض الحجاب الحاجز، يتسع التجويف الصدري مما يؤدي إلى زيادة حجم الرئتين
3. Intrapleural pressure becomes **more negative** (note that it is by default negative, but it becomes more negative after the thoracic cavity expands). 3.الضغط داخل الجنب يصبح أكثر سلبية: يحدث انخفاض في الضغط داخل التجويف الجنبي (المنطقة المحيطة بالرئتين)، حيث يصبح الضغط أكثر سلبية بعد توسع التجويف الصدري
4. Lung inflates. 4.انتفاخ الرئتين: الرئتين تنتفخان نتيجة للزيادة في حجم التجويف الصدري وتصبحان قادرتين على استيعاب الهواء
5. Intra-alveolar pressure drops to -1 mmHg. 5.الضغط داخل الحويصلات الهوائية ينخفض إلى -1 mmHg: انخفاض الضغط داخل الحويصلات الهوائية يؤدي إلى تدفق الهواء من الخارج إلى داخل الرئتين
6. Air enters. 6.دخول الهواء: بسبب التدرج في الضغط، يدخل الهواء إلى الرئتين

"It is not the air that inflates the lungs, it is the inflated lungs that pulls air in"

الفكرة الرئيسية:
الاستنشاق هو "التنفس السلبي" في الجسم البشري، حيث يتم "سحب" الهواء إلى الرئتين عن طريق إنشاء غرفة ضغط سالب. هذا يختلف عن التنفس الاصطناعي الذي يعتمد على التنفس الإيجابي، حيث يتم دفع الهواء من الخارج إلى الرئتين باستخدام جهاز تنفس صناعي

Normal human breathing is said to be negative breathing, which means that breathing is essentially sucking air into a negative pressure chamber. On the other hand, artificial breathing is positive breathing as it pushes air from outside into the lungs.

Expiration

العملية بشكل مفصل:
1.استرخاء الحجاب الحاجز: عندما يسترخي الحجاب الحاجز، يتقلص حجم التجويف الصدري (من -6 إلى -4 mmHg)، مما يؤدي إلى زيادة الضغط داخل الرئتين.
2.زيادة الضغط داخل الحويصلات الهوائية: نتيجة لتقلص الحجم داخل الرئتين، يرتفع الضغط داخل الحويصلات الهوائية إلى +1، مما يؤدي إلى دفع الهواء خارج الرئتين

When the diaphragm relaxes, the volume of the thoracic cavity decreases, making the intrapleural pressure less negative (from -6 to -4 mmHg), thus compressing the lungs and increasing the intra-alveolar pressure to +1, pushing the air out.

Imagine we have a rubber band; pulling it further than its resting length needs active tension, and bringing it back to its resting length is passive and does not consume energy. Applying this concept to the lungs, inspiration is active and requires the contraction of the diaphragm, and thus it require ATP, while expiration is passive and does not require energy.

تشبه مع مرنة (Rubber Band):
•عندما نسحب مرونة أبعد من طولها الطبيعي، نحتاج إلى طاقة نشطة (أي توتر).
•عندما نعيد المرونة إلى طولها الطبيعي، فإن هذه العملية لا تحتاج إلى طاقة لأنها عملية سلبية.
•بشكل مشابه، في التنفس:
•الاستنشاق (Inspiration) يتطلب طاقة نشطة (ATP) لأن الحجاب الحاجز ينقبض.
•أما الزفير (Expiration) فهو عملية سلبية لا تتطلب طاقة لأن حجم الرئتين ينخفض بشكل طبيعي، مما يؤدي إلى دفع الهواء بدون الحاجة إلى الطاقة

Muscles of respiration including the diaphragm, external intercostal muscles, neck muscles, etc., are very efficient and consume only 2% of the ATP expenditure of the body. When expiration becomes active in pathological conditions, these muscles could consume more energy (as far as 80% of the body's ATP), leading to fatigue and eventually death in extreme cases.

كفاءة العضلات التنفسية:
•عضلات التنفس مثل الحجاب الحاجز، العضلات بين الأضلاع، وعضلات الرقبة فعالة جدًا في استهلاك الطاقة، حيث تستهلك فقط 2% من إجمالي استهلاك الجسم للطاقة (ATP).

الحالات المرضية:
•في حالة المرض أو الظروف المرضية، حيث يصبح الزفير نشطًا (مثلما يحدث في الربو أو مشاكل تنفسية أخرى)، قد تستهلك العضلات التنفسية حتى 80% من طاقة الجسم (ATP).
•هذه الزيادة في استهلاك الطاقة قد تؤدي إلى الإرهاق، وفي الحالات المتقدمة قد تؤدي إلى الوفاة بسبب استنفاد الجسم للطاقة

الاستنتاجات:
•الزفير هو عملية سلبية تحدث بشكل طبيعي دون الحاجة إلى طاقة، بينما الاستنشاق هو عملية نشطة تتطلب طاقة.
•عضلات التنفس الفعالة تستهلك كمية صغيرة من الطاقة، ولكن في حالات المرض قد تستهلك طاقة إضافية مما يؤدي إلى مشاكل صحية خطيرة

الي استفاد من هذا الشرح ياريت يدعي لجدتي بالرحمة والمغفرة 🤍

وبعلامة الكارديو بما أنها قربت تطلع 😭.