الدكتور عبد الحميد الملقي

فيزيولوجيا التنفس

التنفس

- جملة الآليات التي تسمح بتبادل الغازات مع الوسط الخارجي لتأمين O_2 و طرح CO_2
- مراحل التنفس

١- التهوية الرئوية: تبادل الغازات بين الأسناخ و الخارج

٢- الانتشار في الرئة: تبادل الغازات بين الأسناخ و الدم

٣- نقل O_2 و CO_2 في الدم (التروية)

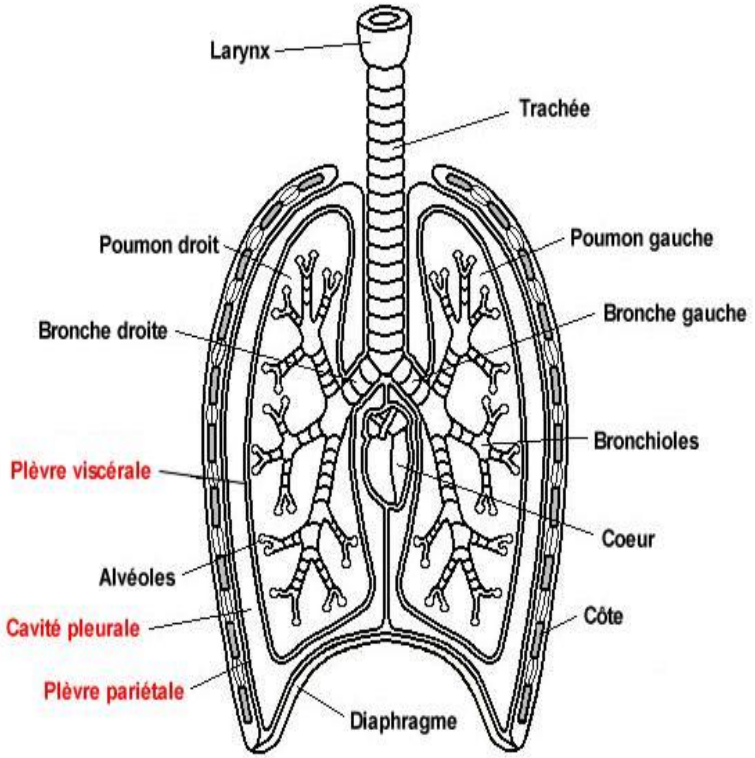
٤- الانتشار في النسج: تبادل الغازات بين السائل الخلالي و الدم

٥- تنظيم التنفس

التنفس الخلوي: استهلاك O_2 و طرح CO_2 من قبل الخلايا

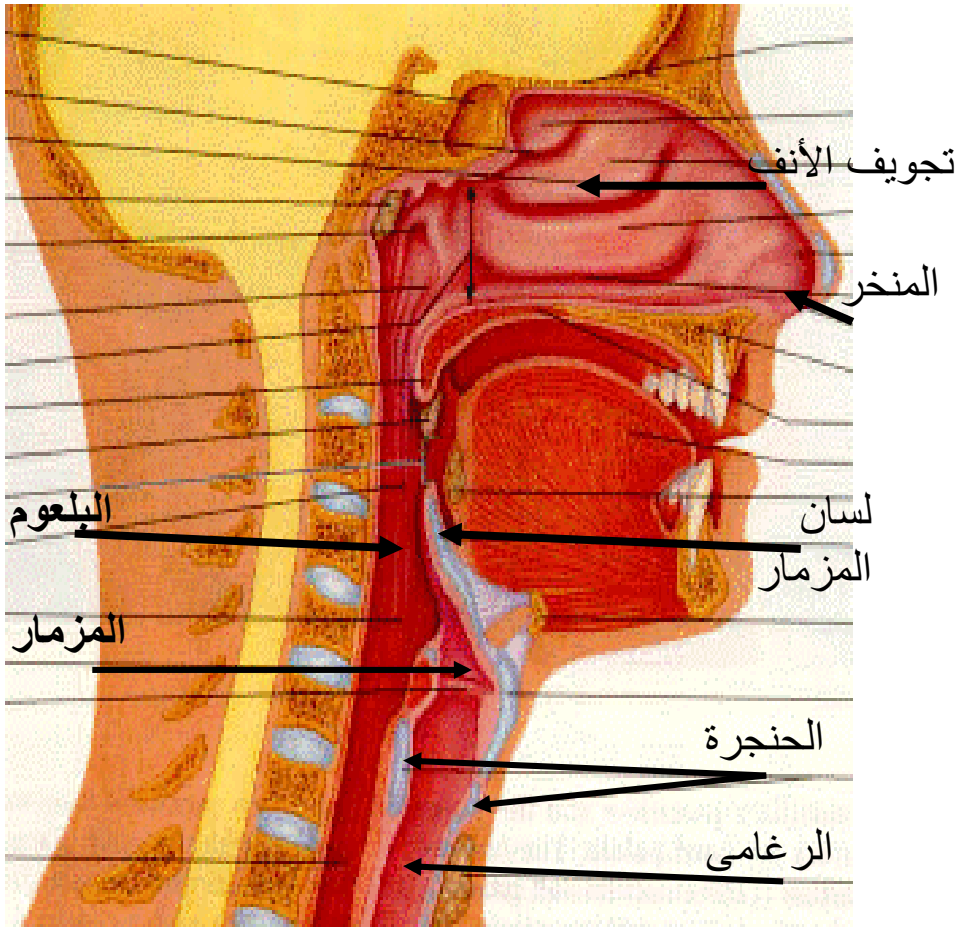
تشريح جهاز التنفس

- تقع الرئتان في الصدر
- اليمنى ٣ فصوص بينما اليسرى فصان بسبب القلب
- تغلف بالجنبة الحشوية ثم الجدارية التي تلتصق بجدار الصدر و الحجاب الحاجز بينهما الجوف الجنبي، **ذو ضغط سلبي دائما بسبب مضخة اللمف، وميل الرئة للانخماص**، و يحوي السائل الجنبي
- المنصف بين الرئتين: في الأمام القلب و في الخلف الأبهر و المريء



السبل الهوائية خارج الصدر

- المنخران: فوهتا دخول الهواء
- تجويف الأنف: يحوي تلافيف تبطىء جريان الهواء، مبطن بغشاء ظهاري مخاطي مهدب يحوي خلايا كأسية goblet مفرزة للمخاط و مستقبلات شمية (تدفئة الهواء أو تبريده، تنقيته و ترطيبه و تمييز الروائح)



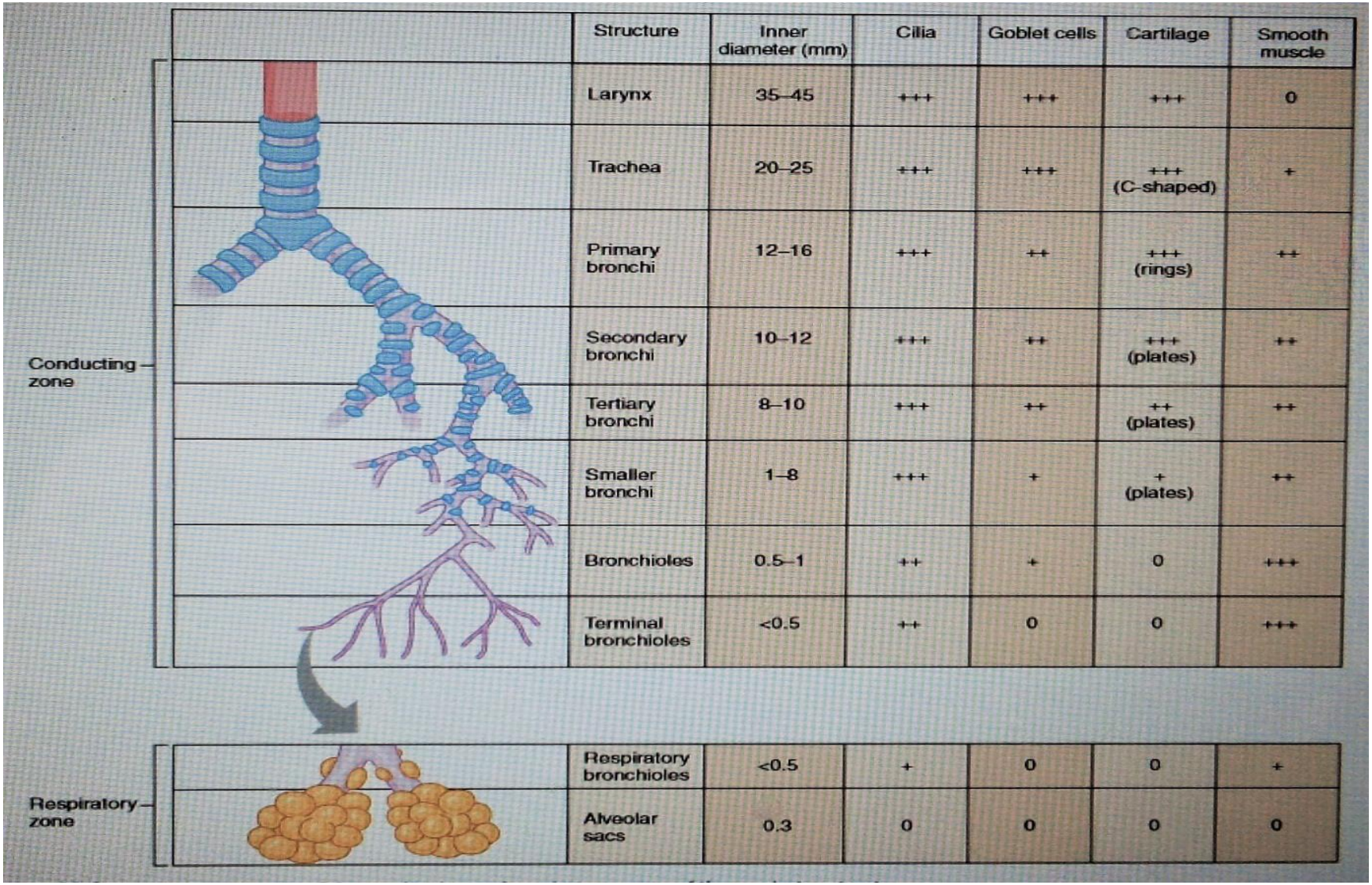
السبل الهوائية خارج الصدر

- البلعوم: مشترك مع سبيل الطعام، يتصلب أثناء الطعام
- المزمار: فتحة تصل بين البلعوم في الأعلى و الحنجرة في الأسفل تغلق أثناء الطعام بلسان المزمار، وجود الطعام في هذه الفوهة يسبب الغصص
- الحنجرة: تحوي عناصر غضروفية و غشائية و تتمادى بالرغامى، كما تحوي الحبال الصوتية. قطع المبهم ثنائي الجانب (العصب الحنجري الراجع) أثناء الجراحة يسبب الاختناق بسبب إغلاق الحنجرة.

السبل الهوائية داخل الصدر

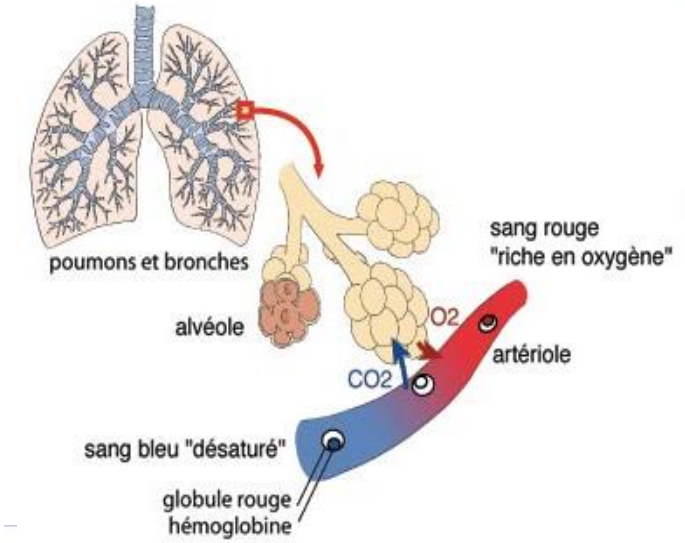
- الرغامى: أنبوب مؤلف من غضاريف حلقية غير كاملة تغلق في الخلف بعضلات ملساء خاضعة للتعصيب الذاتي - اللاودي مقبض (مستقبلات مسكارينية) و الودي مرخ و موسع للقصبات (مستقبلات β2)- يبطن الرغامى غشاء مخاطي مهدب
- القصبات الرئيسية (٢) ثم الفرعية ثم القصيبات الثانوية و الانتهائية (١٦ تفرعا)، ثم القصيبات التنفسية

السبل الهوائية داخل الصدر



	Structure	Inner diameter (mm)	Cilia	Goblet cells	Cartilage	Smooth muscle
Conducting zone	Larynx	35–45	+++	+++	+++	0
	Trachea	20–25	+++	+++	+++ (C-shaped)	+
	Primary bronchi	12–16	+++	++	+++ (rings)	++
	Secondary bronchi	10–12	+++	++	+++ (plates)	++
	Tertiary bronchi	8–10	+++	++	++ (plates)	++
	Smaller bronchi	1–8	+++	+	+ (plates)	++
	Bronchioles	0.5–1	++	+	0	+++
	Terminal bronchioles	<0.5	++	0	0	+++
Respiratory zone	Respiratory bronchioles	<0.5	+	0	0	+
	Alveolar sacs	0.3	0	0	0	0

السبل الهوائية داخل الصدر



- الأكياس السنخية: تمادي القصيبات التنفسية تحوي الأسناخ الرئوية (أجواف) المفصولة بالحواجز السنية، وتتصل بينها بالمسام السنخية تكون الأسناخ و الحواجزعلى تماس مباشر مع سطح المبادلات الغازية الدموية

- الأسناخ: أصغر وحدة وظيفية، جدرانها رقيقة جدا تحوي بعض الألياف المرنة و تبطن بغشاء ظهاري يحوي نوعين من الخلايا، النمط الثاني Type2 يفرز الفعال بالسطح surfactant، **<u>تحوي بالعات</u>**

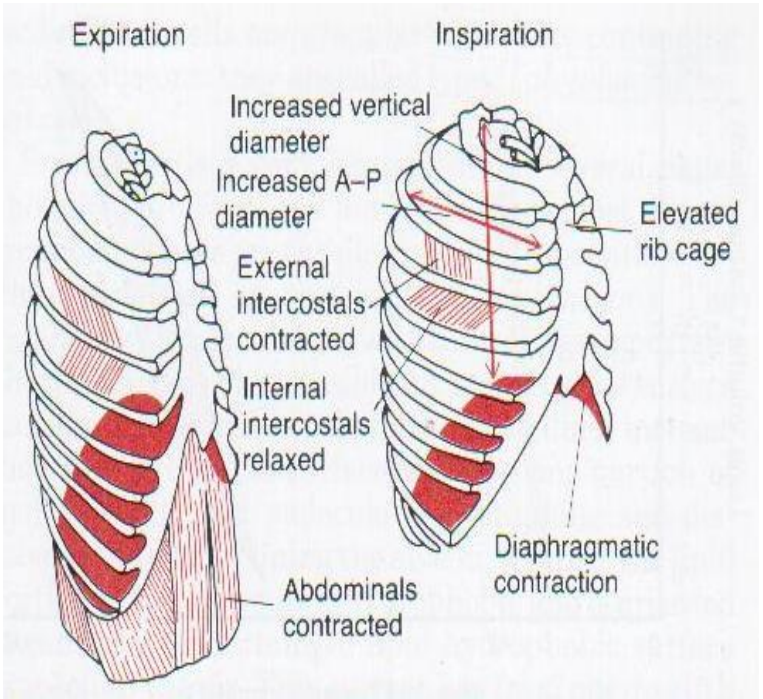
التهوية الرئوية

- تبادل الغاز بين الأسناخ و الهواء الخارجي عبر الشهيق و الزفير باستعمال عضلات التنفس
- <u>عضلات الشهيق</u>:

- الحجاب الحاجز: العضلة الأساسية
- العضلات الوربية الظاهرة
- العضلة الترقوية الخشائية: ترفع الضلع ١
- العضلات الشوكية: تبسط العمود الفقري

- <u>عضلات الزفير</u>:

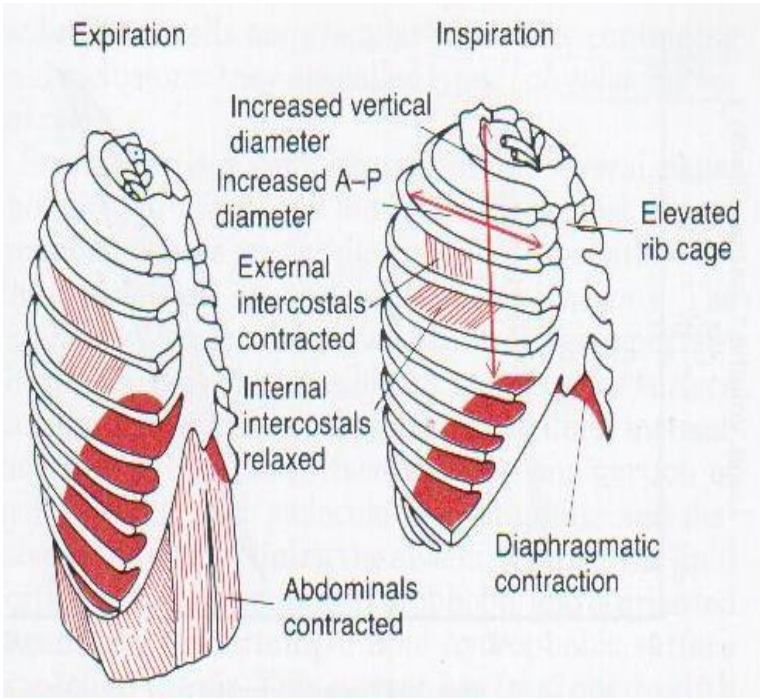
- عضلات البطن و لاسيما المستقيمة البطنية: العضلة الأساسية
- العضلات الوربية الباطنة



التهوية الرئوية

- أثناء الشهيق:

- تقلص الحجاب الحاجز يزيد القطر الطولاني بينما العضلات الوربية الظاهرة القطر الأمامي الخلفي (في الشهيق القسري تشترك بقية العضلات و تزيد القطر الأمامي الخلفي أيضا) ← توسع الصدر ← الضغط سلبي داخل الصدر ← دخول الهواء إلى الأسناخ

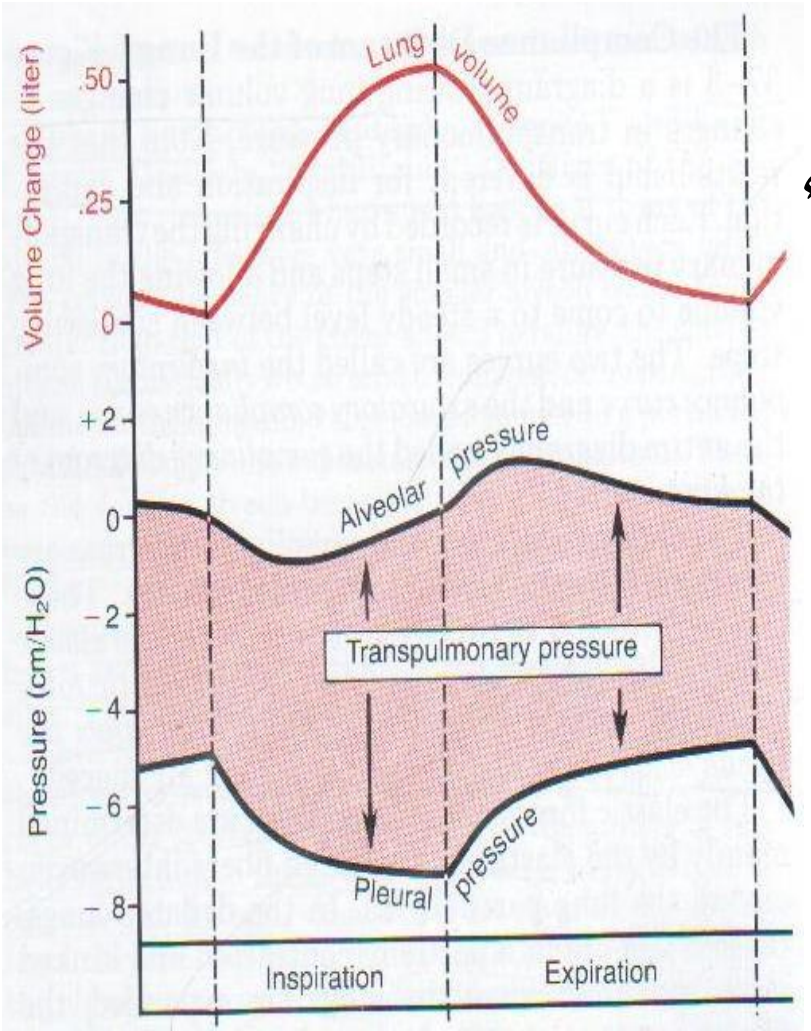


- أثناء الزفير: **(منفعل)**

- ترتخي العضلات الشهيقية ← تضييق الصدر ← ↑الضغط داخل الصدر ← خروج الهواء من الأسناخ

- تعمل العضلات الزفيرية في الزفير القسري

تغيرات الضغط و الحجم أثناء التنفس



- الشهيق:

- ↓الضغط الجنبي من - ٥ إلى - ٧,٥سم ماء
- ↓ الضغط السنخي من ٠إلى - ١سم ماء
← ↑ حجم الرئة ٠,٥ ل خلال ٢ ثا

- **الضغط عبر الرئوي: الفارق بين الضغط الجنبي و السنخي و يعبر عن مرونة الرئة (recoil pressure)**
- تتناسب مقاومة جريان الهواء عبر الطرق الهوائية عكسا مع نصف القطر (دور العضلات الملساء و التضيق القصبي)

مطاوعة الرئة

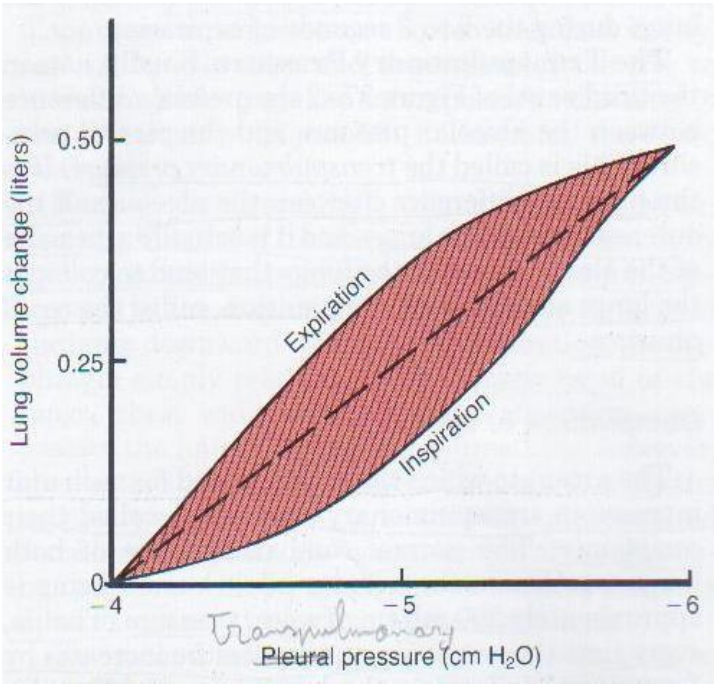
- هي مدى توسع الرئة عند زيادة الضغط عبر الرئوي (نقص الضغط الجنبي) و تقدر ب ٢٠٠ مل /سم ماء و ترتبط ب:

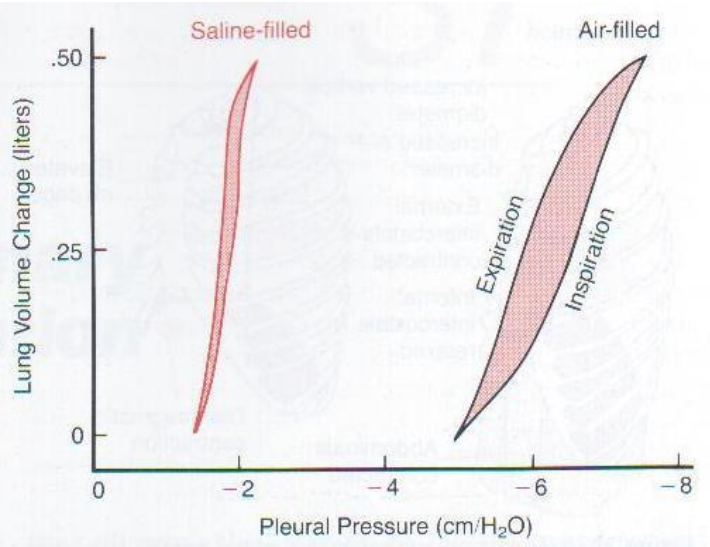
١- مرونة نسيج الرئة (الكولاجين و الإلاستين) و تمثل ثلث المطاوعة

٢- قوة التوتر السطحي surface tension: و يمثل الثلثين و تتأثر بالفعال بالسطح surfactant (ينقص التوتر السطحي)

- ↑ المطاوعة أثناء الزفير

و ↓ أثناء الشهيق





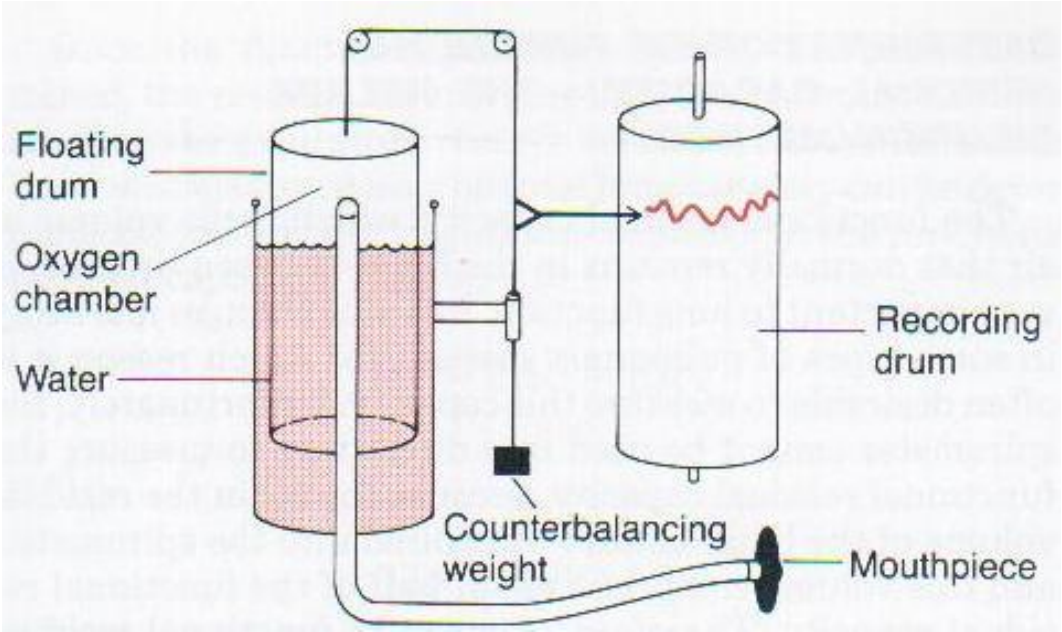
الفعال بالسطح surfactant

- خليط من البروتينات و شاردة الكالسيوم و الشحميات الفسفوليبيدية أهمها دي بلميتول ليسيتين Dipalmitoyl lecithin الحاوي على نهاية محبة للماء و أخرى كارهة للماء.
- مسؤول عن إنقاص التوتر السطحي بشكل كبير (من ٢ و حتى ١٢ مرات) و منع الأسناخ من الانخماص أثناء الزفير
- عند الخدج: الأسناخ صغيرة (↑ التوتر السطحي) و الفعال بالسطح لا يفرز بشكل كاف قبل الشهر السابع ← انخماص الرئة (داء الأغشية الهلامية)

- يكون معدل التنفس مرتفعا عند الولادة ٤٠ مرة / د
- يتناقص مع العمر: بعد البلوغ ١٢ مرة / د
- يزداد أثناء الجهد و ارتفاع الحرارة بسبب زيادة الاستقلاب و الحاجة للأكسجين
- يزداد في الحماض الاستقلابي لطرح المزيد من CO2
- ازدياد معدل التنفس ← قلاء تنفسي

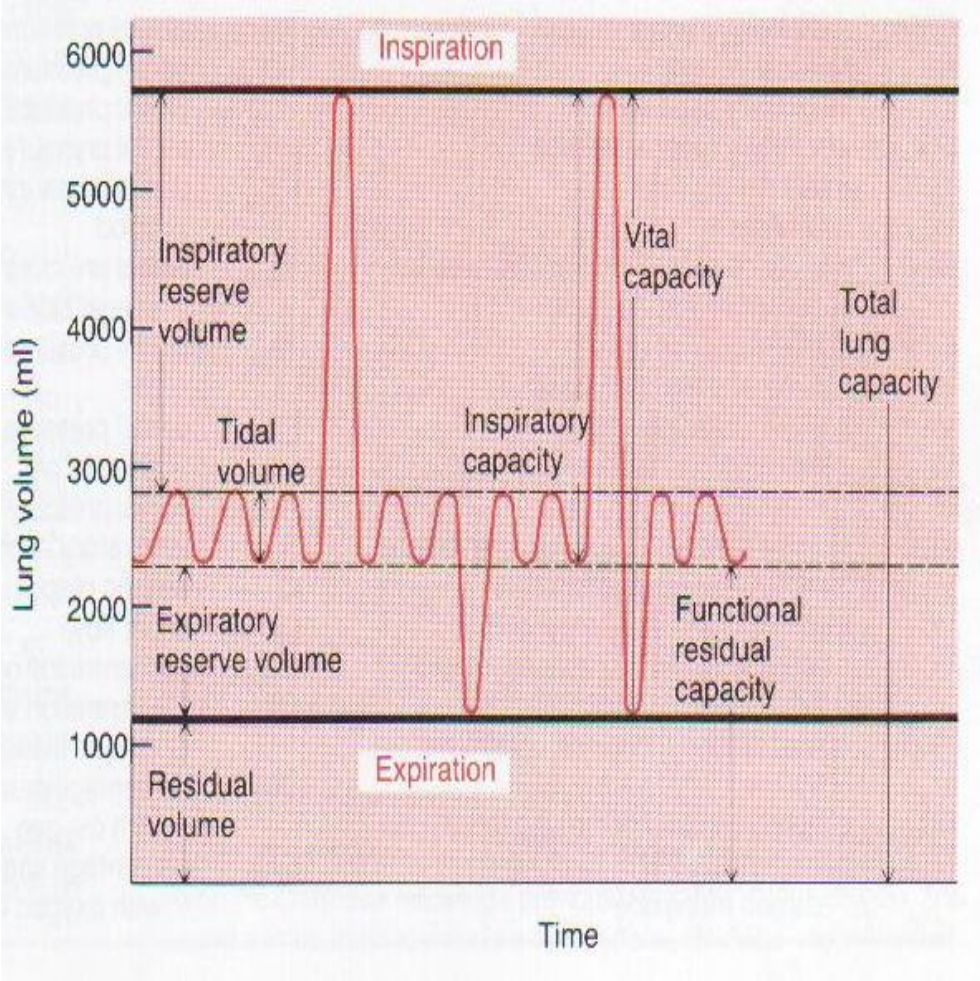
الحجوم الرئوية

- هي حجم الهواء المتبادل أثناء التنفس، و تختلف في التنفس العفوي الاعتيادي عنه في التنفس القسري
- تقاس بمقياس النفس spirometer



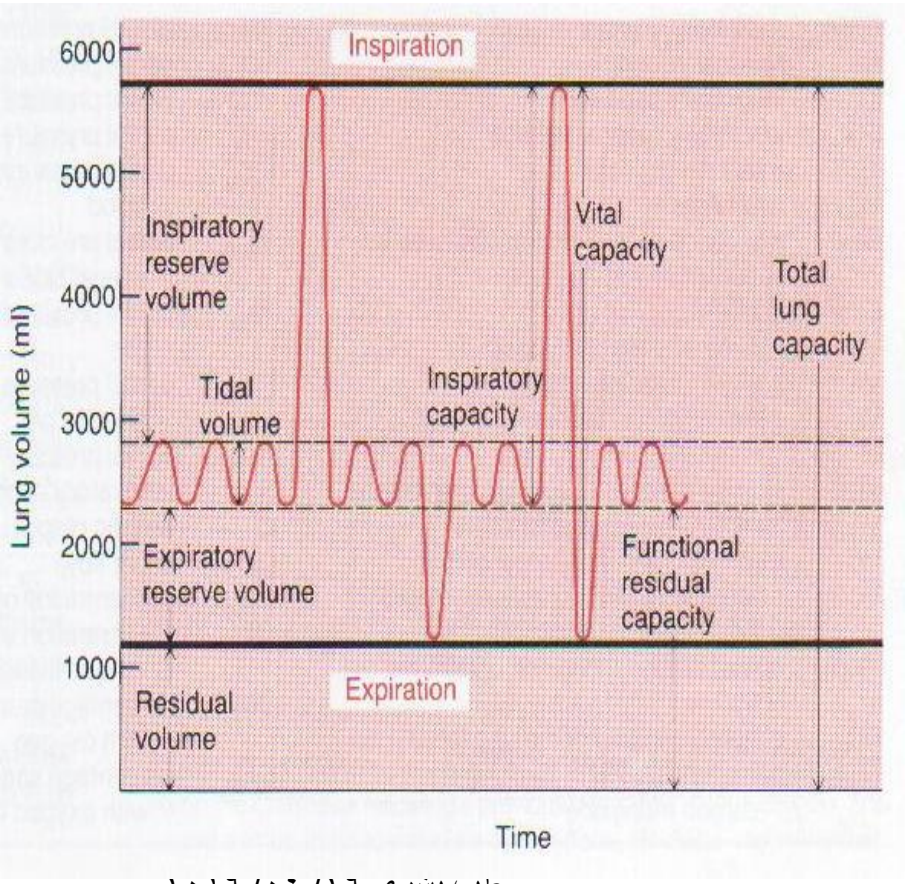
الحجوم الرئوية respiratory volumes

- الحجم المدي (الهواء الجاري) TV: حجم الهواء الداخل أو الخارج خلال شهيق أو زفير اعتياديين = ٠,٥ل
- الحجم الاحتياطي الشهيقي IRV: حجم الهواء الداخل بشهيق قسري **تال لشهيق اعتيادي** = ٣ ل
- الحجم الاحتياطي الزفيري ERV: حجم الهواء الخارج بزفير قسري **تال لزفير اعتيادي** = ١,١ل
- الحجم المتبقي RV: حجم الهواء **المتبقي بعد زفير قسري**= ١,٢ ل



السعات الرئوية Respiratory capacities

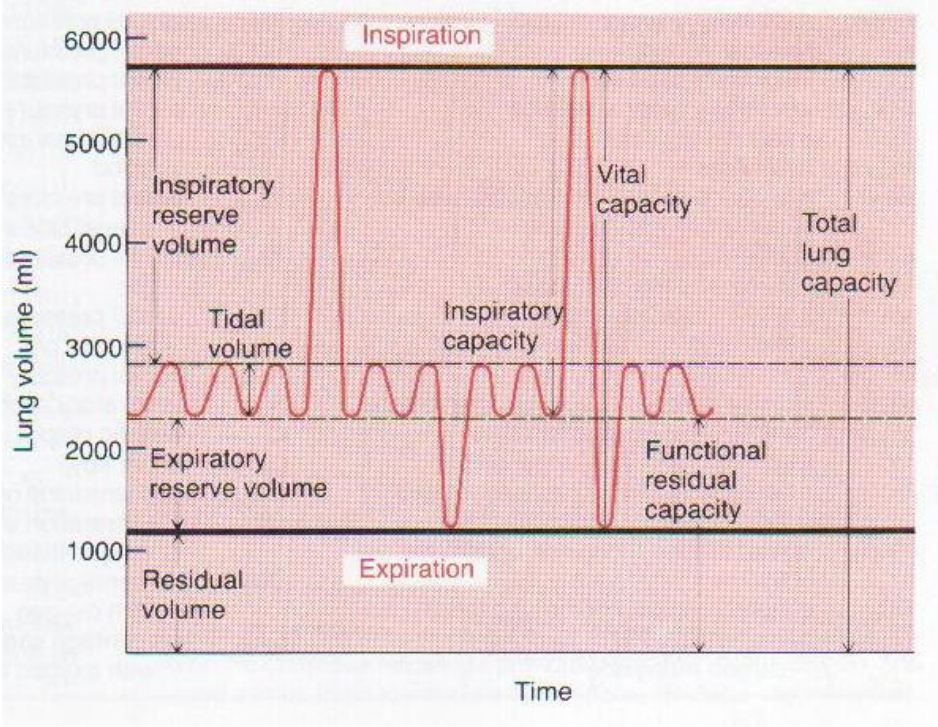
- السعات الرئوية هي مجموع حجمين أو أكثر
- السعة الشهيقية IC: الحجم المدي + الاحتياطي الشهيقي، أقصى كمية هواء يمكن استنشاقها بدء من زفير اعتيادي = 3.5 ل
- السعة الوظيفية المتبقية أو المدخرة FRC: الحجم الاحتياطي الزفيري + المتبقي، كمية الهواء المتبقية بعد زفير اعتيادي = ٢,٣ ل
- السعة الحياتية VC: الحجم الاحتياطي الزفيري + الحجم المدي + الاحتياطي الشهيقي، أكبر كمية هواء يمكن أن تشارك في المبادلات الغازية = ٤,٦ ل



السعات الرئوية

- السعة الرئوية الكلية TLC: السعة الحياتية + الحجم المتبقي، أكبر كمية حجم يمكن أن تصله الرئة باستخدام أكبر جهد تنفسي= ٥,٨ ل
- تتأثر الحجوم و السعات ب:

- العمر: تزداد حتى ٢٠ سنة، و تتناقص بعد سن ٤٠ و لاسيما السعة الكلية
- الجنس: الرجال > النساء ب ٢٠-٢٥%
- الحالة الصحية: الربو، السل، النفاخ
- الوضعة: ↓ السعات أثناء الاستلقاء
- التمرين: ↑ السعات عند الرياضيين



الحجوم الرئوية

- الحيز الميت Dead space: حجم الطرق التنفسية التي لا تساهم بالمبادلات الغازية،

- الحيز الميت التشريحي (الطرق التنفسية الموصلة): من الرغامى حتى الأكياس السنخية = ١٥٠مل

- الحيز الميت الفيزيولوجي (الأهم): التشريحي + الأسناخ غير الوظيفية

الحجوم الرئوية

- الحجم التنفسي في الدقيقة: كمية الهواء الداخلة أو الخارجة من الرئتين في الدقيقة = حجم الهواء المدي X معدل التنفس

= ٠,٥ X ١٢= ٦ ل / د

- التهوية السنخية (الفعلية): كمية الهواء المشاركة في المبادلات الغازية في الدقيقة = (الحجم المدي - الحيز الميت) X معدل التنفس

= (٠,٥ – ٠,١٥) X ١٢= ٤,٢ ل / د

التبادل الغازي

- يرتبط التبادل الغازي **(التنفس الخارجي)** ب:

١- الغشاء التنفسي:

- مساحته
- ثخانته

٢- ممال الضغط بين طرفي الغشاء لكل غاز

٣- **معامل انتشار الغاز(انتشار CO_2 > O_2 ب ٢٠ مرة)**

- طردا مع ذوبان الغاز في سائل ونسيج الغشاء
- عكسا مع الجذر التربيعي للوزن الجزيئي للغاز

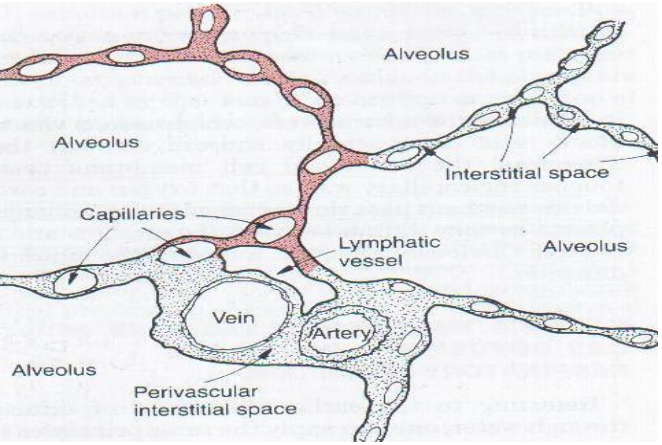
التبادل الغازي

- يرتبط التبادل الغازي ب:

٤- سرعة جريان الدم: مدة تماس الدم مع هواء الأسناخ (قليل الأهمية في الحالة الفيزيولوجية)

٥- معدل و عمق التنفس

٦- الضغط الجوي: في المرتفعات يكون PO_2 منخفضا

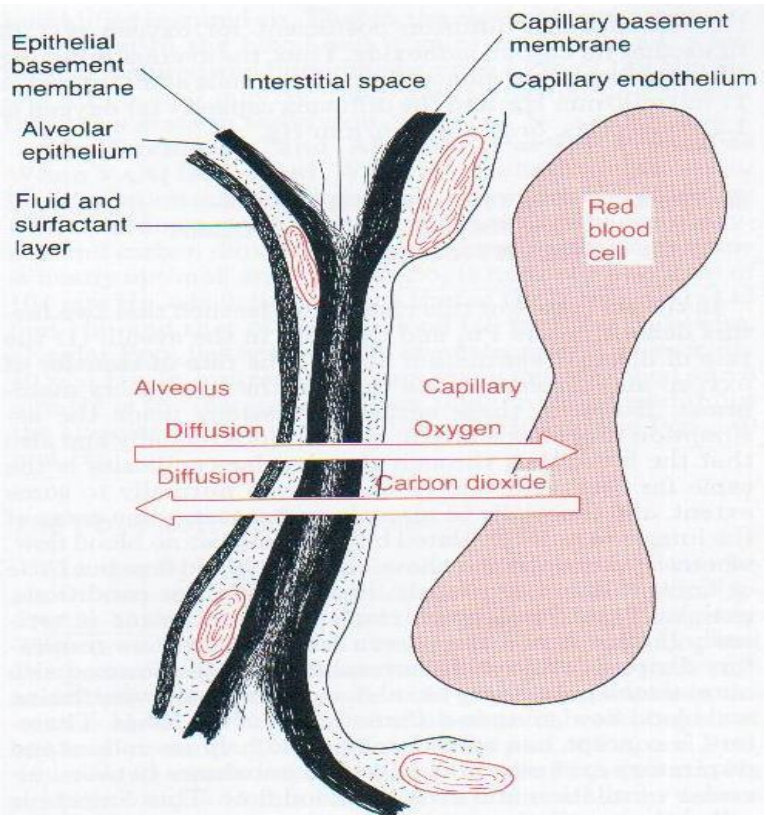


التبادل الغازي

- الغشاء التنفسي (سطح التبادل الغازي):

- السائل الحاوي على الفعال بالسطح
- الظهارة السنخية
- الغشاء القاعدي الظهاري
- الحيز الخلالي
- الغشاء القاعدي للشعيرات
- بطانة الشعيرات

- مساحته: ٥٠-١٠٠ م^{٢}



الضغوط الجزئية لغازات الهواء

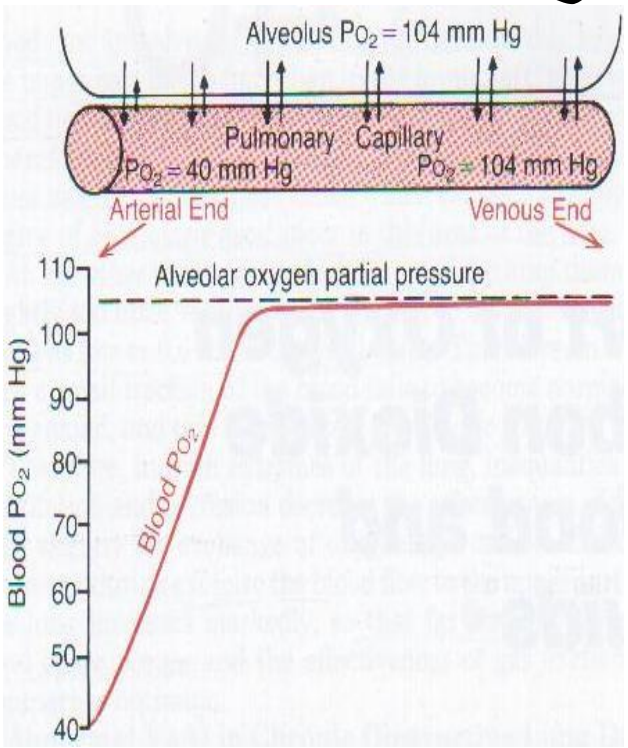
- قانون دالتون: ضغط خليط من الغازات = مجموع الضغوط الجزئية لمكوناته
- ضغط الهواء ٧٦٠ ممز عند سطح البحر
- O_2 = ٢٠,٩% من الهواء ← PO_2 = ١٥٩ممز، اختلاط الهواء ببخار الماء في الطرق الهوائية و CO_2 الأسناخ ← PO_2 الأسناخ = ١٠٤ممز
- CO_2 = ٠,٠٤% من الهواء ← PCO_2 = ٠,٣ممز بينما في الأسناخ ٤٠ممز

التبادل الغازي

- انتشار O_2:

- على مستوى الرئة: PO_2الأسناخ ١٠٤ممز

PO_2الشعيرات ٤٠ممز



← دخول O_2 إلى الدم

إشباع الدم الخارج من الرئتين بالأكسجين

٩٩% = ٢٠مل O_2 في كل ١٠٠مل دم

إشباع الدم الداخل إلى الرئتين

٧٥% ← تستخلص النسج O_2 ٥مل من

كل ١٠٠مل دم

التبادل الغازي

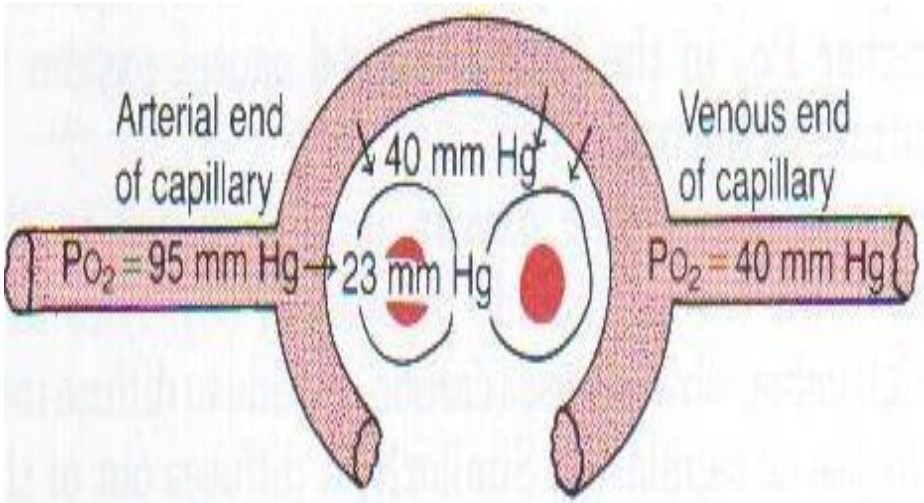
- انتشار O_2:

- على مستوى النسج:

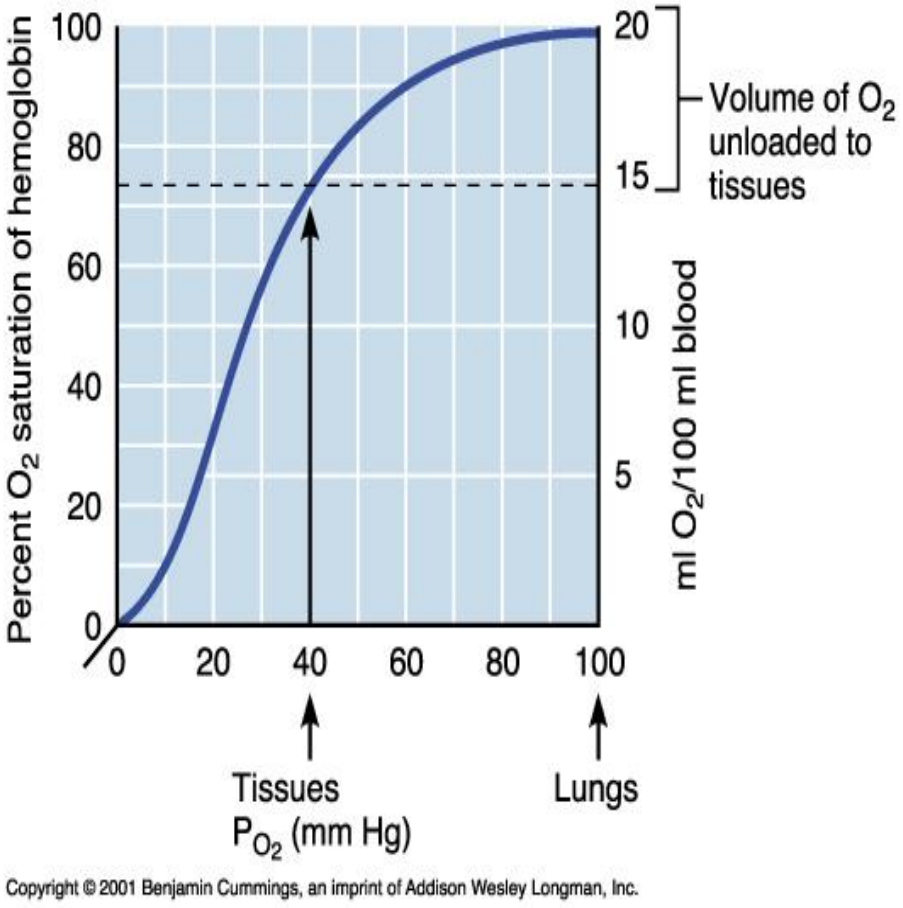
PO_2الشعيرات ٩٥ممز

PO_2السائل الخلالي ٤٠ممز

← دخول O_2 إلى النسج



منحنى تفارق الأكسجين



Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

- علاقة PO_2 بإشباع الخضاب
- sat O_2 ↑ ← PO_2 ↑
- الإشباع الأعظمي ٢٠مل O_2 لكل ١٠٠مل دم

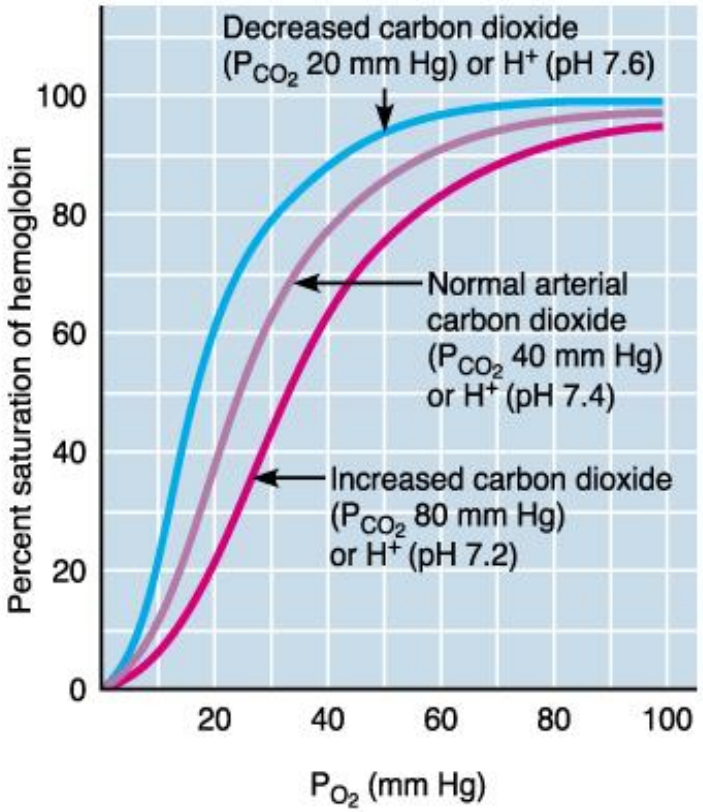
فعل بور Bohr

- PCO_2 ↑ ← انزياح المنحنى نحو اليمين ← O_2 ↑ المتحرر إلى النسج
- العوامل المؤثرة:

- PH:الحموضة ←انزياح نحو اليمين

- الحرارة: ↑ الحرارة (الاستقلاب) ← انزياح نحو اليمين

- ٣,٢ ثنائي فوسفوغليسريد 2,3DPG في الكريات الحمر: ↑ ← انزياح المنحنى نحو اليمين



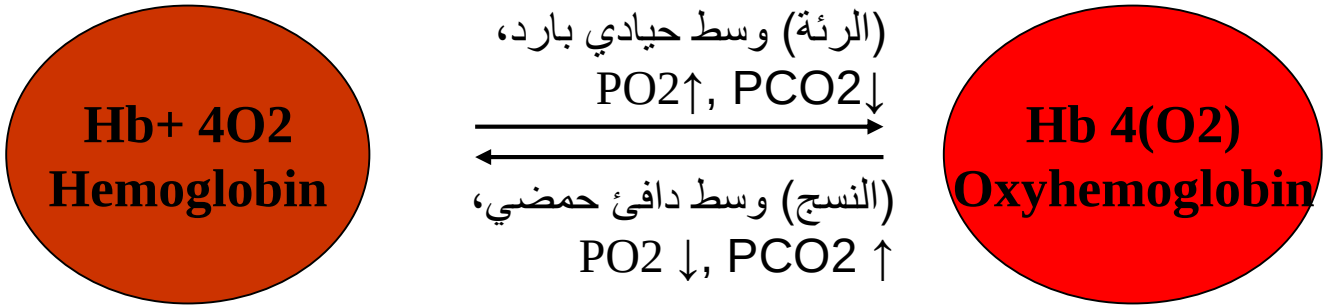
(b)

Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

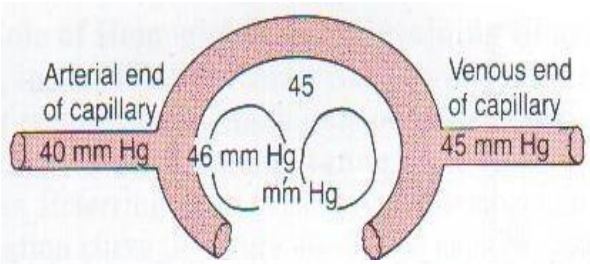
التبادل الغازي

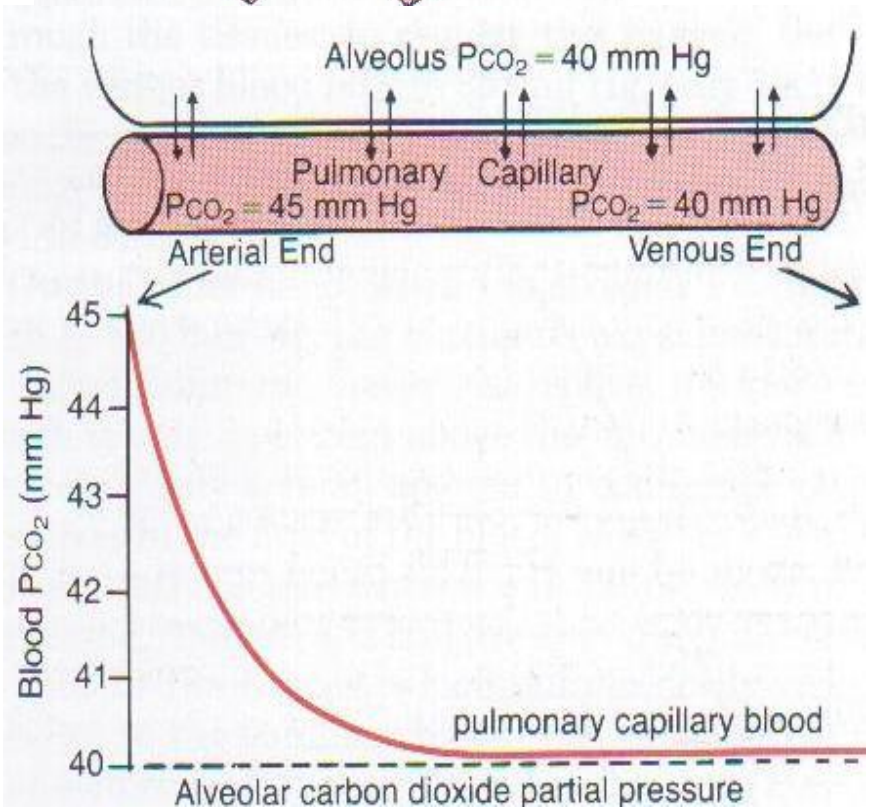
- انتشار O_2:

- ٩٧% من O_2 ينتقل مع الخضاب و ٣% مع المصورة



التبادل الغازي





- انتشار CO_2:

- على مستوى النسج:

PCO_2الشعيرات ٤٠ممز

PCO_2السائل الخلالي ٤٥ممز

← دخول CO_2 إلى الدم

- على مستوى الرئة:

PCO_2الأسناخ ٤٠ممز

PCO_2الشعيرات ٤٥ممز

← خروج CO_2 من الدم

التبادل الغازي

- انتشار CO_2:

٥% من CO_2 المتشكل في النسج ينحل في المصورة

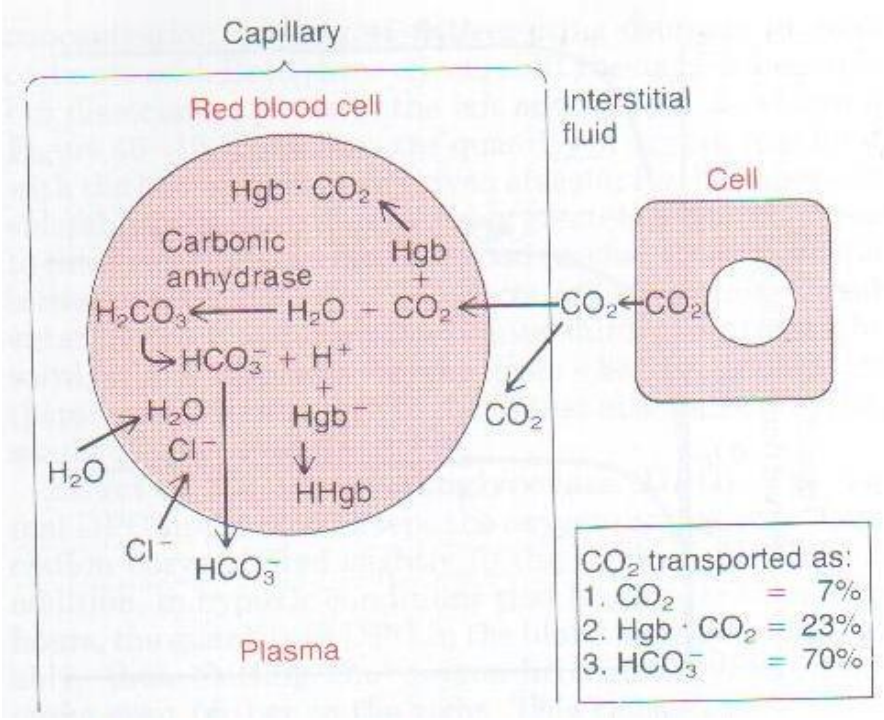
٢% يرتبط مع بروتينات المصورة و الباقي يدخل RBC

٢٣% يرتبط مع الخضاب ← كاربأمينوهيموغلوبين (ارتباط ضعيف عكوس)

٧٠% يرتبط مع الماء ← H_2CO_3 ←

HCO_3^- تذهب إلى المصورة و يدخل

Cl^- (انزياح الكلور) أما H^+ ترتبط بالخضاب (دور دارئ buffer)



- **في الرئة تنعكس التفاعلات**
- المسؤول عن ذلك إنظيم الأنهيدراز الكربونية

فعل هالدان Haldane effect

- ارتباط الأكسجين بالخضاب يميل إلى إزاحة ثاني اكسيد الكربون من الدم ، **يعاكس فعل بور ويفوقه أهمية**
- الآلية :ارتباط الأكسجين بالخضاب يجعله أشد حموضة

- ميل الخضاب الأكثر حموضة إلى الارتباط ب CO_2 قليل
- يحرر الخضاب الأكثر حموضة H^+ فترتبط ب HCO_3^- ← H_2CO_3 ← H_2O و CO_2 ← يدخل الأسناخ