(Gas transport)

المحاضرة الخامسة

د. وليد داوود

atmosphere " O_2 بناخذ منه " → inspired air

↓

During inspiration بيصير ← ventilation " inspiration flowed by expiration.

diffusion between alveolar air and pulmonary capillary blood.

→ Gases that enter the capillaries first dissolve in the plasma.

↓

الدكتور حكى إنه مش مهم

gases يحكي

O_2 مش عكس كان

وبس.

→ dissolved gases play only a small part in providing the cells with O_2.

→ The RBCs or erythrocytes have a critical Role in ensuring that gas transport between lung and cells in adequate to meet cell needs.

→ without hemoglobulin in the blood cells the blood would be unable to transport suffient oxygen to sustain life.

→ 98% of oxygen carried by hemoglobin

→ 2% of oxygen carried by plasma. just 2%

→ O_2 consumption → " that means oxygen that taken by the cell "

O_2 consumption = arterial O_2 transport − venous O_2 transport.

* consuption = volume "كمية الأكسجين" not pressure (PO_2) ✓

note → كل 100 مل blood بيحتوي على 19.5 ml O_2 مل

→ **oxygen capacity** → لما يكون كل ال hemoglobin مرتبط مع O_2 ولا جزء منه مش مكمل كل hemoglobin molecule مرتبط بـ $4O_2$

نحكي "complete association" or "full association saturation".

= 200 mL/L

ومن الحقيقة ما بنلاقي هذه الصورة في الجسم ✓

But
⇒ oxygen content → حكينا إنه في الحقيقة ما بنيجي نحكي عن جسم الإنسان فيه complete association مع oxygen ✓ (فيش درجة استمرار)

195 (19.5 mL/L) = ← علشان هيك نحكي إنه ال oxygen consumption

→ علشان ال saturation not 100%

and PO_2 = 97% - 98%

← O_2 ← that take by tissue = 5% or 5 mL / 100 mL of blood ✓

← مبرجع في ال venous return blood = 14.5 mL / 100 mL O_2 blood

→ O_2 transport to cells "at rest"

$= \text{oxygen content of arterial blood} \times \text{cardiac output}$

$= \frac{200 \text{ mL } O_2}{\text{L of blood}} \times \frac{5 \text{ L of blood}}{\text{min}}$

$= \boxed{1000 \text{ mL } O_2 / \text{min to cell.}}$

◄ من وين اجت 200 ؟! ومش حكينا 20 تكرارًا ؟! وكمان تكرارًا عن 19.5 ؟!

① 200 هذه 200 mL من O_2 على Litter of blood ✓

② 20 هذه 20 mL من O_2 لكل 100 مل من blood
مش لتر ✓

③ وحكينا قبل احياناً انه 19.5 .
بيكون هذه 19.5 mL O_2 / 100 مل blood ✓
أو بنحكي 195 mL O_2 / Litter of blood.

→ oxygen consumption of the cells "يعني قديش استهلكت الـ cells O_2 ؟!"

$= \text{arterial } O_2 \text{ transport} - \text{venous } O_2 \text{ transport.}$

$= 20 \text{ or } 19.5 - 14.5 = 5 \text{ mL } O_2 / 100 \text{ mL blood.}$

or 5 mL / L of blood ✓

→ Fick's law of diffusion:—

O_2 consuption بتحسب ال

→ O_2 consumption = cardiac output × (arterial O_2 content − venous oxygen content) ✓

← ومن هذا التأثير بنقدر نستنتج إنه 98٪ من ال O_2 تحمله ال hemoglobin.

← و 2٪ من ال O_2 تحمله plasma. ✓

(مهم)

⊕ ← الي بحدد ال PO_2 في ال arterial blood هو ال physical solution.

كيف؟! ← تحدد الكمية بناءً ال O_2 الي موجودة في ال plasma مبناءً عليها بأحكم قديش في O_2 مرتبط في ال hemoglobin

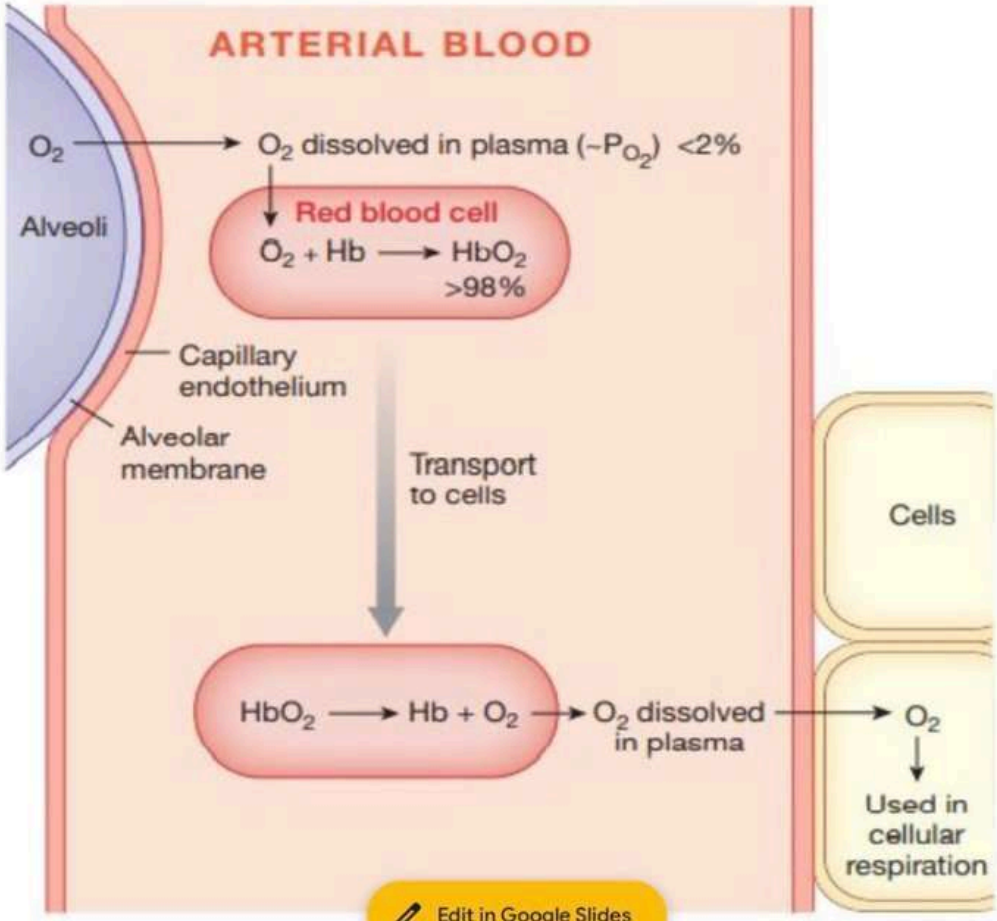
⇐ رغم إنه كمية ال O_2 الي موجودة في ال plasma قليلة جداً ولكنه قدر نحدد بيتم تعويضها من ال O_2 الي مرتبط في ال hemoglobin

→ oxygen dissociation curve ⇒ ← هو عبارة عن S shape

← وبيحدد لك العلاقة ما بين PO_2 and O_2 saturation.

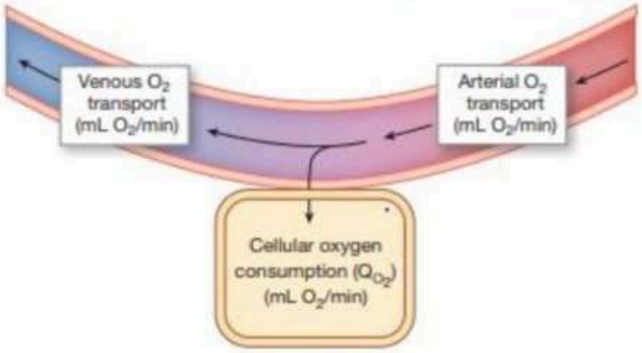
← هذا ال curve في جزء (horizontal + vertical parts).

More than 98% of the oxygen in blood is bound to hemoglobin in red blood cells, and less than 2% is dissolved in plasma.



Edit in Google Slides

FIG. 18.6 Mass balance and the Fick equation



Mass Balance

$$\text{Arterial } O_2 \text{ transport} - Q_{O_2} = \text{venous } O_2 \text{ transport}$$

Rearranges to:

$$\text{Arterial } O_2 \text{ transport} - \text{venous } O_2 \text{ transport} = Q_{O_2}$$

Mass Flow

$$O_2 \text{ transport} = \underset{\text{(L blood/min)}}{\text{cardiac output (CO)}} \times \underset{\text{(mL } O_2\text{/L blood)}}{O_2 \text{ concentration}}$$

Fick Equation

Substitute the mass flow equation for O_2 transport in the mass balance equation:

$$(CO \times \text{Arterial } [O_2]) - (CO \times \text{Venous } [O_2]) = Q_{O_2}$$

Using algebra $(AB) - (AC) = A(B - C)$:

$$CO \times (\text{Arterial } [O_2] - \text{Venous } [O_2]) = Q_{O_2}$$

→ in horizontal part → O_2 pressure = 100
(PO2)
↓ to
oxygen pressure = 60
(PO2)

oxygen saturation ← بلاحظ إنه لازال ال

متوحد ال 90 ✓ ليش؟ طويلة ماقل

Because horizontal part ⟶(بيشكل) gas exchange at the level of the lung.

← متكاملة ال ↑ affinity of hemoglobin to O_2

← والدليل على هيك
marked drop of PO_2 ⟶(ما بيأثر)
high drop of O_2 saturation

affinity of Hb to O_2 ↑ high. علشان هيك ال

→ in vertical part ⟶ small drop in PO_2
تقابل ب
marked drop in O_2 saturation.

ليش؟ لأنه هذا بيصير at the level of tissue cell ⟶ بحيث إنه ال affinity of hemoglobin ↓ قلت
O_2 منطرك مادر يحتفظ ب

→ During exercise ⟶(بيصير) shifting to the right

→ **in horizontal part** → O_2 pressure (PO_2) = 100
↓ to
oxygen pressure (PO_2) = 60

← بنلاحظ إنه الإشباع ال oxygen saturation

متوسط ال 90 ✓

ليه طبيعي ؟! ما قل

Because horizontal part ⟶(بيشكل) gas exchange at the level of the lung.

← متماسك ال ↑ affinity of hemoglobin to O_2

← والدليل على هيك marked drop of PO_2 ⟶(ما أدى) ✗ high drop of O_2 saturation

ماسك ال affinity of Hb to O_2 ↑ high.

→ **in vertical part** ⟶ small drop in PO_2
تقابل ب
marked drop in O_2 saturation.

ليش ؟! لأنه هذا بيصير at the level of tissue cell ⟶ بحيث إنه ال affinity of hemoglobin ↓ قلت ، مش كان قادر يحتفظ ب O_2

→ During exercise ⟶(بيصير) shifting to the right

note ← الجسم بياخذ من ال plasm ← O_2 ، وال plasma بتاخذ

من ال RBCs ✓

→ Hemoglobin binds to oxygen reversibly ?!

اشو يعني reversibly هنا؟!

$Hb + O_2$ ← يعني إنه
↳ strongly attached at the level of lung.

But

$Hb + O_2$
↳ weakly attached at the level of tissue.

← كل جزئ من ال hemoglobin قادر يحمل 4 أجزاء O_2.
or 8 atoms of oxygen

→ hemoglobin → globin part "protein"
↳ heme → وهو الجزء المسؤول عن حمل O_2.

⇓
شكله عامل زي S
عشان هو بحمل الأكسجين gradually
فكل مرة بحمل جزئ بينحني حتى يعطي S shape ✓

→ ↑ concentration of oxygen ⟶ مباشرة
امكانية ارتباط ال O_2 بال hemoglobin
كمان بتزيد ✓

← .. عندما كيرف shifting to the right ← منيال curve.
فبلاقي إنه أصبحت ال Hb affinity ↓ ومن هنا بنعرف إنه

بدنا نعرف إنه ح يصير ↑ releasing of oxygen ✓

← ولو تحل ال O_2 بعيد 8 shift لل left ... وما في إشي
(المرتبط بال Hb)

نتيجة حدوث CO poisoning

في هذه الحالة بتكون امكانية إنه يرتبط ال CO بال Hb أعلى من إمكانية ارتباط ال O_2 بال Hb.

← الناس المدخنة بيكون عندهم نسبة من (15-10) ٪ من Hb تبعهم بيكون occupied بال CO.

← كمية ال O_2 الي بتقدر إنها توصل لل Hb بتعتمد على عدة عوامل:

1- PO_2 ⟶ إذا كان ↑ فأكيد كمية O_2 واصلة منيح.

2- alveolar ventilation ⟶ وكمان إذا كان تمام وبيوصل بدون مشاكل مكان كمية ال O_2 الي واصلة منيحة.

3- anemia ⟶ نقص في ال Hb
من الأساس والي هو بيكون مسؤول عن حمل الدم.

anemia ⟶
- decrease in hemoglobin content
- decrease in Red blood cells count
or both ✓

← احتياج ال tissue لل O_2 هو الي بيحدد قديش يأخذ O_2 من ال plasma.

✓ at rest tissue cells need 250 mL O_2 / min.

- plasma: 2% → 3 mL O_2/L
- Hb: 98% → يعني تقريبا 197 mL O_2/L

Note → oxygen delivery to the cell = هنا اللي بيصير مع الـ capillaries = 1000 mL O_2 /min.

علشان هيك اعمل مجهود واحتاج اكثر (2000 - 3000)

حسب حاجة الـ tissue بيوصله O_2.

تذكر

→ Amount of O_2 bind to Hb depends on 2 factors:-

(1) PO_2 in the plasma surrounding the RBCs
(2) number of potential Hb binding sities [sites] available in the RBCs.

But still → that plasma PO_2 is the primary factor determining what percent of the available Hb binding sites are occupied by Hb. that also known precent [percent] saturation of Hb.

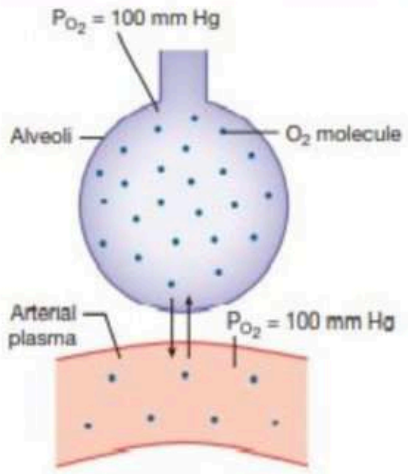
← درجة تشبع الـ Hb بالـ O_2

→ venous blood = 70%

→ arterial blood = 95% - 97%

FIG. 18.7 Hemoglobin increases oxygen transport

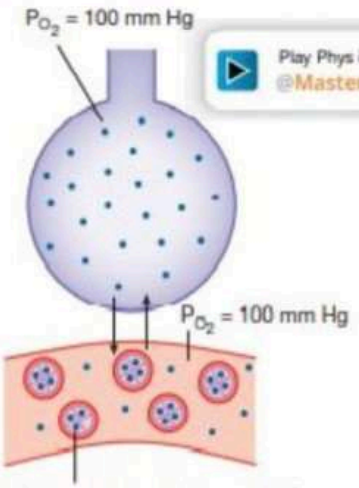
(a) Oxygen transport in blood without hemoglobin: Alveolar P_{O_2} = arterial P_{O_2}



Oxygen dissolves in plasma.

O_2 content of plasma	= 3 mL O_2/L blood
O_2 content of red blood cells	= 0
Total O_2 carrying capacity	3 mL O_2/L blood

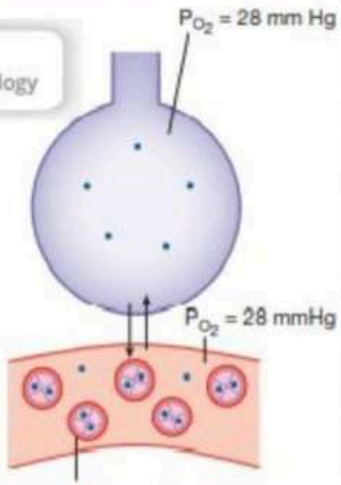
(b) Oxygen transport at normal P_{O_2} in blood with hemoglobin



Red blood cells with hemoglobin are carrying 98% of their maximum load of oxygen.

O_2 content of plasma	= 3 mL O_2/L blood
O_2 content of red blood cells	= 197 mL O_2/L blood
Total O_2 carrying capacity	200 mL O_2/L blood

(c) Oxygen transport at reduced P_{O_2} in blood with hemoglobin



Red blood cells carrying 50% of their maximum load of oxygen.

O_2 content of plasma	= 0.8 mL O_2/L blood
O_2 content of red blood cells	= 99.5 mL O_2/L blood
Total O_2 carrying capacity	100.3 mL O_2/L blood

→ **arterial PO_2 is established by:-**

1- **the composition of inspired air.** → air

طبيعة الهواء الي نتنفسه (هل فيه O_2 بنسبة عالية منيحة ولا لأ؟!).

2- **the alveolar ventilation rate.**

هل الهواء الي بتنفسه بوصل لل alveoli فعلاً؟
مثلاً في عند الشخص (rapid shallow breathing)

في هذه الحالة
ما يلحق الهواء يغير
exchange إله! → بيصير للشخص hypoventilation.

✓ remember
وأنا بدرس
عامل
ما بثبت
باقي العوامل

3- **Respiratory membrane "alveolo capillary membrane"**

إذا normal ⇓ ✓ 0.2 μm.

or

!is thickness ⇓ fibrosis, edema ⇓

هنا عكسه بيصير للشخص 'arterial hypoxemia.

mch → mean corpuscular hemoglobin.

→ **anemic hypoxia** → ← بالتنفس هواء جيد ✓.
← وال ventilation ✓
← respiratory membrane ✓
← لكن لا يوجد Hb كفاية أو عدد RBCs بيكون قليل.

→ **hypoxic hypoxia** → ← قلة في ال O_2 الجوي.

→ **Stagnant hypoxia.** → slow blood flow. سبيل
كمية ال O_2 الي تروح الخلايا / unit time تكل
بتقل ← زي كأنه ال blood موقف ومعطله وشو رايح يمشي

→ **histotoxic hypoxia** → ← كل حاجة تمام ووصل الاكسجين لحد ال mitochondria
بأعتبار مناسبة وكل حاجة تمام ولكنه مش عارف يستخدمه مشكله في ال respiratory enzymes "cytochrome oxidase" and "cytochrome dehydrogenase"
↓
بيحصل الها Block.
فما تشتغل ال mitochondria ✓.

← الشخص الي بيصير معاه نزيف وبيفقد كمية كبيرة من الدم ما بنفع اعطيه Salin
← علشانه مفيش Hb الي تكل فلازم اعطيه Blood
وبعدين بأشوف اذا بيحتاج Salin او لا.

← العوامل التي تتحكم بعمل ال O_2 على Hb أولاً (in plasma)

↳ - لا يزيد ال O_2 في ال plasma يزيد فعالية الـ Hb
← ولا يقل ال O_2 في ال plasma يقلل فعالية الـ Hb
Because plasma is source of O_2 to Hb.

← موجود (anemic hypoxia)

→ arterial oxygen → the total oxygen content of arterial blood depends on the amount of oxygen dissolved in plasma and bound to hemoglobin.

سرعة ال map /

← مركز في ال Ditales

⊛ surface area → in alveoli = 70 m^2
← مساحة ملعب تنس (tennis).

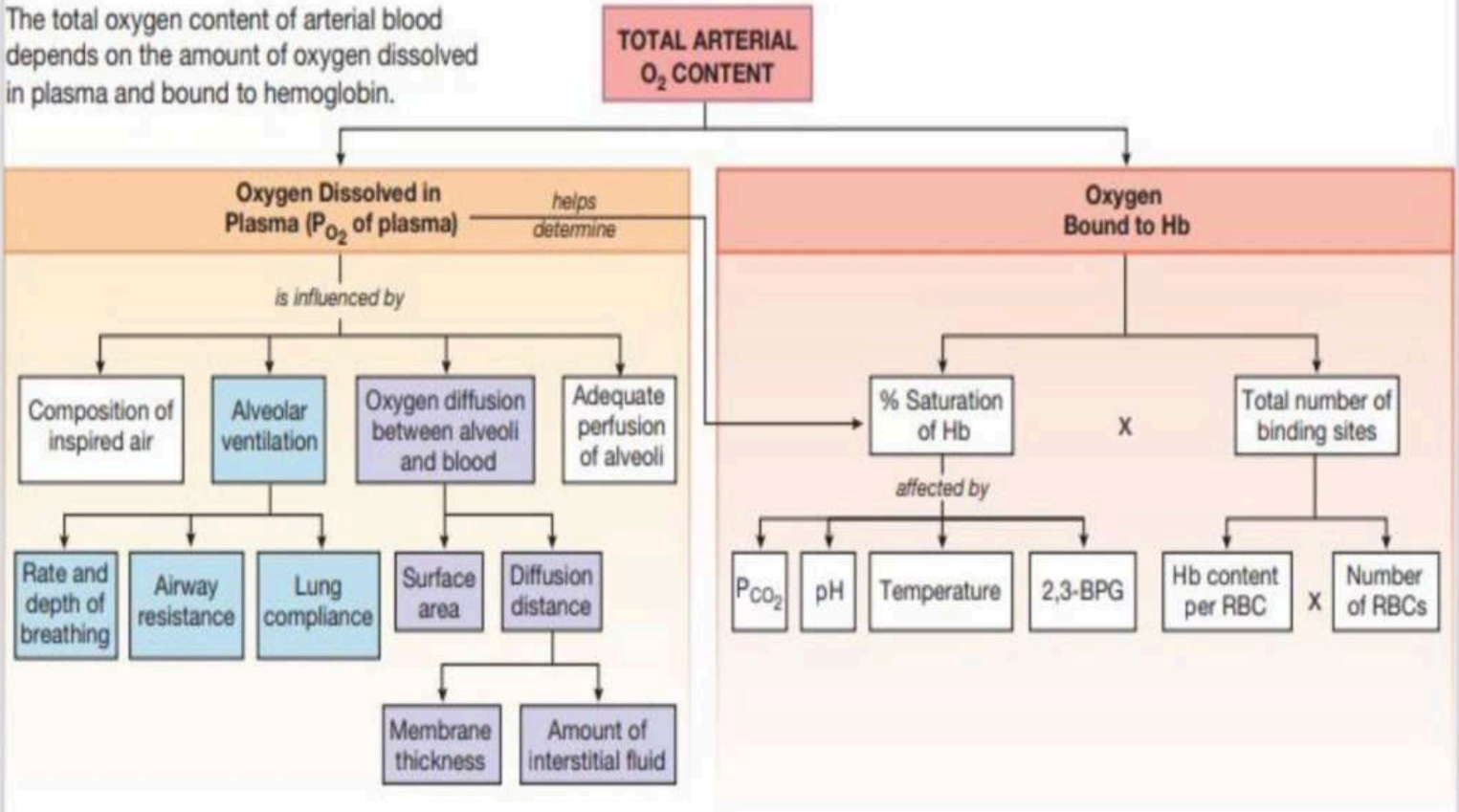
← كل ما يزيد ال surface area ← كل ما يزيد ال Diffusion

⊛ Diffusion distance ⇒ thickness of the membrane.

← يعبر علاقة عكسية ما بين PO_2 وال oxygen saturation

Arterial oxygen

The total oxygen content of arterial blood depends on the amount of oxygen dissolved in plasma and bound to hemoglobin.



→ Transport of CO_2 in blood.

⊛ CO_2 content in arterial blood = 48 mL CO_2 / 100 mL of blood.

⊛ CO_2 content in venous blood = 52 mL CO_2 / 100 mL of blood.

سبب زيادة هنا هي العمليات التي تتم داخل ال mitochondria

= 4 mL of CO_2 / 100 mL of blood

⇓

CO_2 released from tissue to the blood. "at rest" ✓

⇓

(tidal CO_2) ← تعريفه

→ CO_2 in blood → ⊛ بيكون على 3 أشكال :-

① - Dissolve in plasma = 7%

② - compined with Hemoglobin = 23%

③ - Bicarbonate ion (HCO_3^-) على شكل = 70%

⇒ Bicarbonate → (تعتبر) alkaly reserve.

⇓

this the most powerful buffered system which neutralize acids.

⊛ venous CO_2 pressure = 45 mmHg

⊛ arterial CO_2 pressure = 40 mmHg

→ CO_2 produced by the cell ← cellular respiration

الجسم بيتخلص منه بسرعة علشان بيعمل toxic

CO_2 بيكون (more diffusable) than → (O_2)

بيعمل تراكم في الجسم ← hypercapnea ، acidosis

CO_2 ← is the main stimulus of respiratory center.

note (*) the rate of CO_2 produce by the mitochondria
=
the rate of CO_2 that removal by the alveoli

(*) → normal range of CO_2 → (35 - 45) mmHg

→ ↑ CO_2 $\xrightarrow[\text{with}]{\text{يتفاعل}}$ H_2O → (H_2CO_3) → carbonic acid.

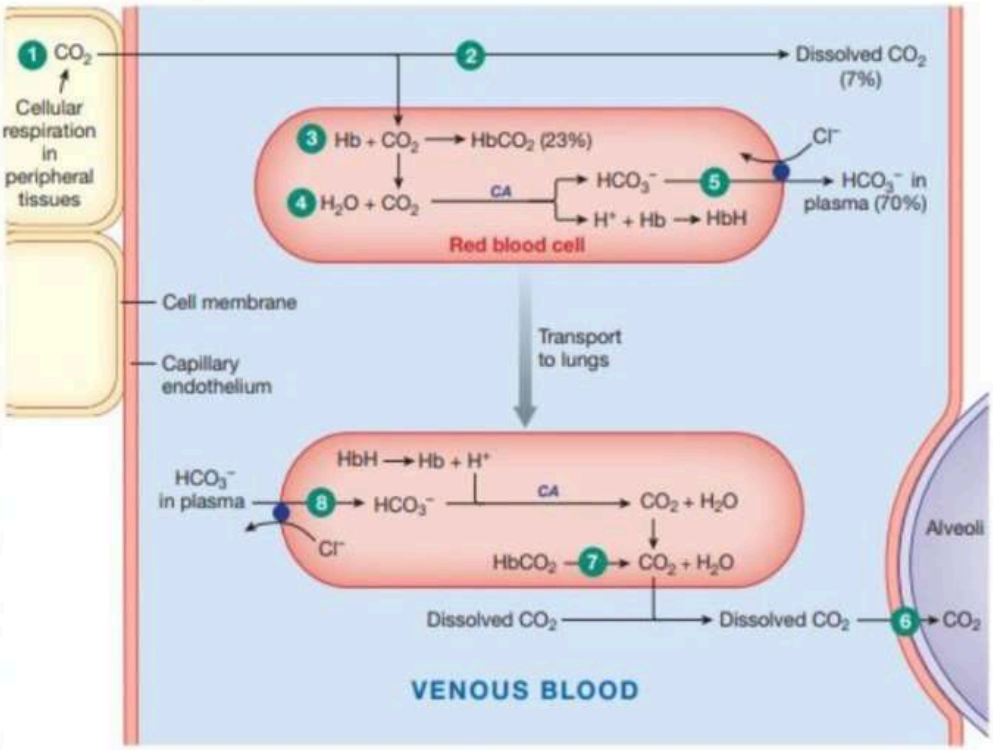
→ H_2CO_3 ⟷ (H^+) + HCO_3^-

(H^+) → acidosis → ↓pH

← بيساعد ال carbonic anhydrase enzyme ← في تسريع حدوث ↑ معدل التفاعل.

Most CO_2 in the blood has been converted to bicarbonate ion, HCO_3^-.

1. CO_2 diffuses out of cells into systemic capillaries.
2. Only 7% of the CO_2 remains dissolved in plasma.
3. Nearly a fourth of the CO_2 binds to hemoglobin, forming carbaminohemoglobin.
4. 70% of the CO_2 load is converted to bicarbonate and H^+. Hemoglobin buffers H^+.
5. HCO_3^- enters the plasma in exchange for Cl^- (the chloride shift).
6. At the lungs, dissolved CO_2 diffuses out of the plasma.
7. By the law of mass action, CO_2 unbinds from hemoglobin and diffuses out of the RBC.
8. The carbonic acid reaction reverses, pulling HCO_3^- back into the RBC and converting it back to CO_2.



KEY

CA = carbonic anhydrase

→ chloride shift phenomena ⟹

① الخلية تطلع CO_2

↓

② بيروح على ال plasma

↓

③ بيرتبط بال H_2O — ① أو بيرتبط مع Hb / أو بيروح على ال plasma

↓

هنا بيتكون $\uparrow HCO_3^-$

↓

④ بتطلع ال bicarbonate لل plasma

↓

⑤ بيدخل بدالها Cl^-.

↓

⑥ بعدين ال blood بيروح على ال lung.

↓

⑦ فيدخل ال HCO_3^- → وبتتحلل.

فيطلع ال Cl^-. → بسبب دخولها علشان هي وشكل من أشكال ال CO_2

→ Respiratory exchange (ratio). → منتج صح

$$= \frac{\text{rate of } CO_2 \text{ production}}{\text{rate of } O_2 \text{ uptake}} = \frac{4}{5} = 0.82$$

Done.