



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

## ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ

Ενότητα: Οξυγόνωση των ιστών

Δ. Γεωργόπουλος  
Καθηγητής Ιατρικής,  
ICU, Πανεπιστήμιο Κρήτης



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται στην άδεια χρήσης Creative Commons και ειδικότερα

Αναφορά – Μη εμπορική Χρήση – Όχι Παράγωγο Έργο v.3.0

(Attribution – Non Commercial – Non-derivatives v.3.0 )



[ή επιλογή ενός άλλου από τους έξι συνδυασμούς]

[και αντικατάσταση λογότυπου άδειας όπου αυτό έχει μπει (σελ. 1, σελ. 2 και τελευταία)]

- Εξαιρείται από την ως άνω άδεια υλικό που περιλαμβάνεται στις διαφάνειες του μαθήματος, και υπόκειται σε άλλου τύπου άδεια χρήσης. Η άδεια χρήσης στην οποία υπόκειται το υλικό αυτό αναφέρεται ρητώς.

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

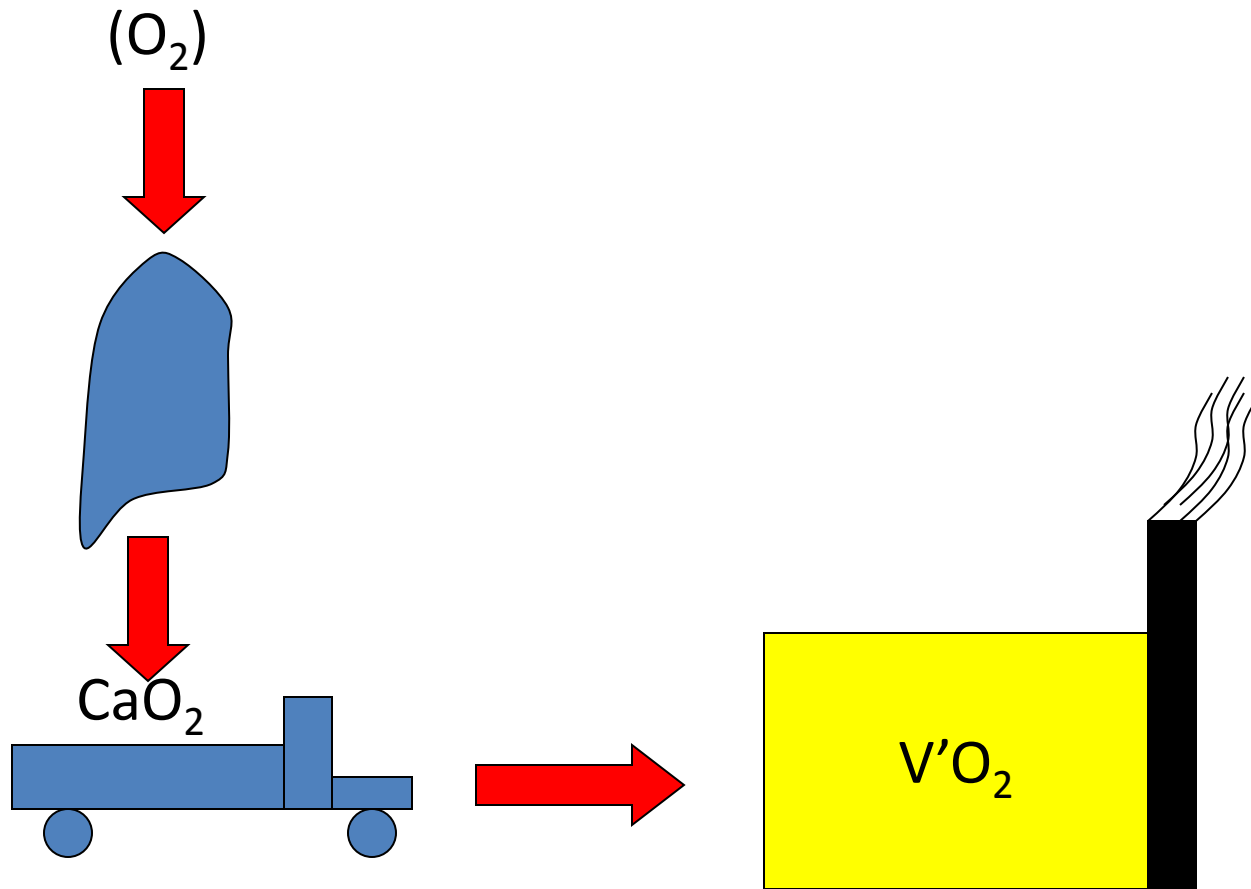


ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
*επένδυση στην κοινωνία της γνώσης*  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



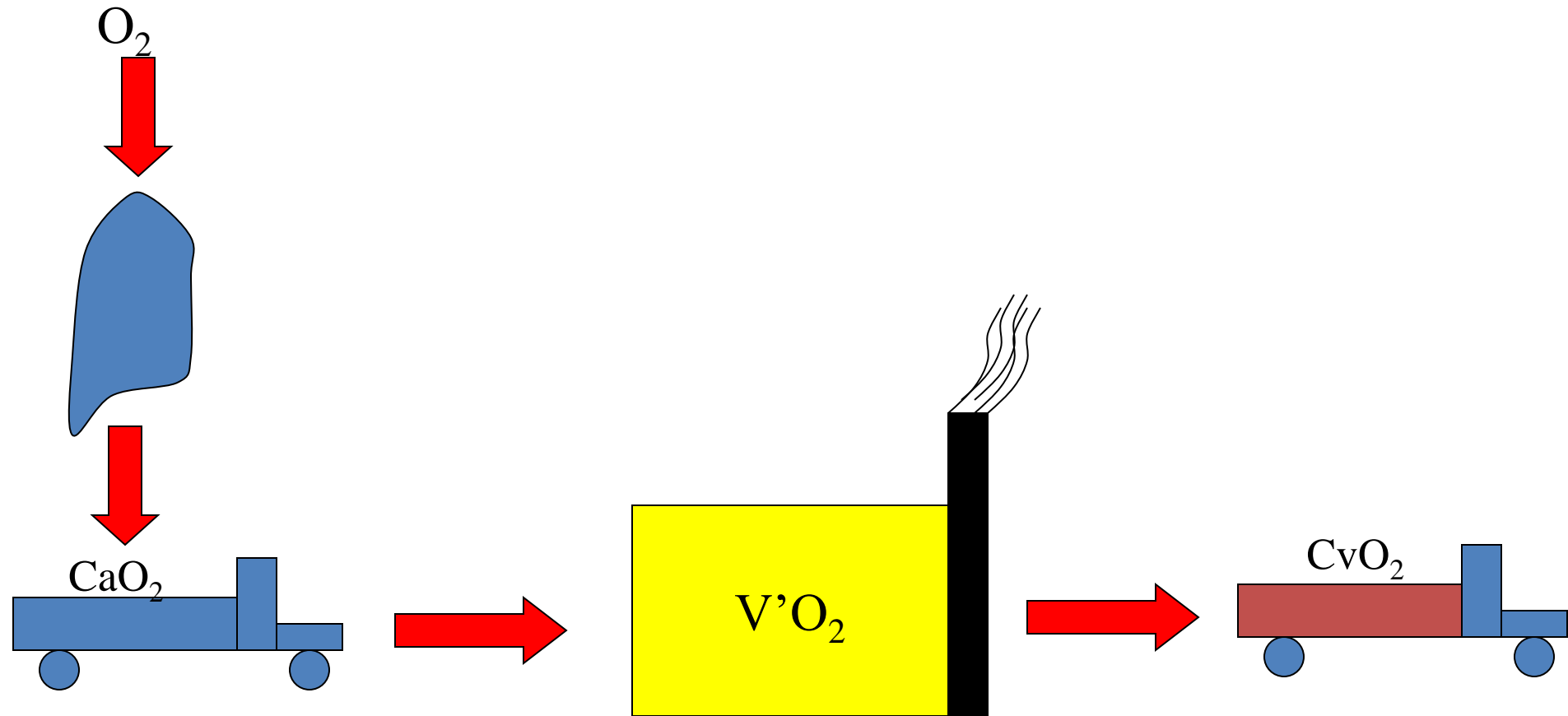
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη



$$CaO_2 = 1.36 \times Hb \times SaO_2 + (0.003 \times PaO_2)$$

$$\text{Amount of } O_2 = \text{Truck volume} \times CaO_2$$

$$\text{Truck volume} = \text{stroke volume (SV)}$$



$$CaO_2 = 1.36 \times Hb \times SaO_2 + (0.003 \times PaO_2)$$

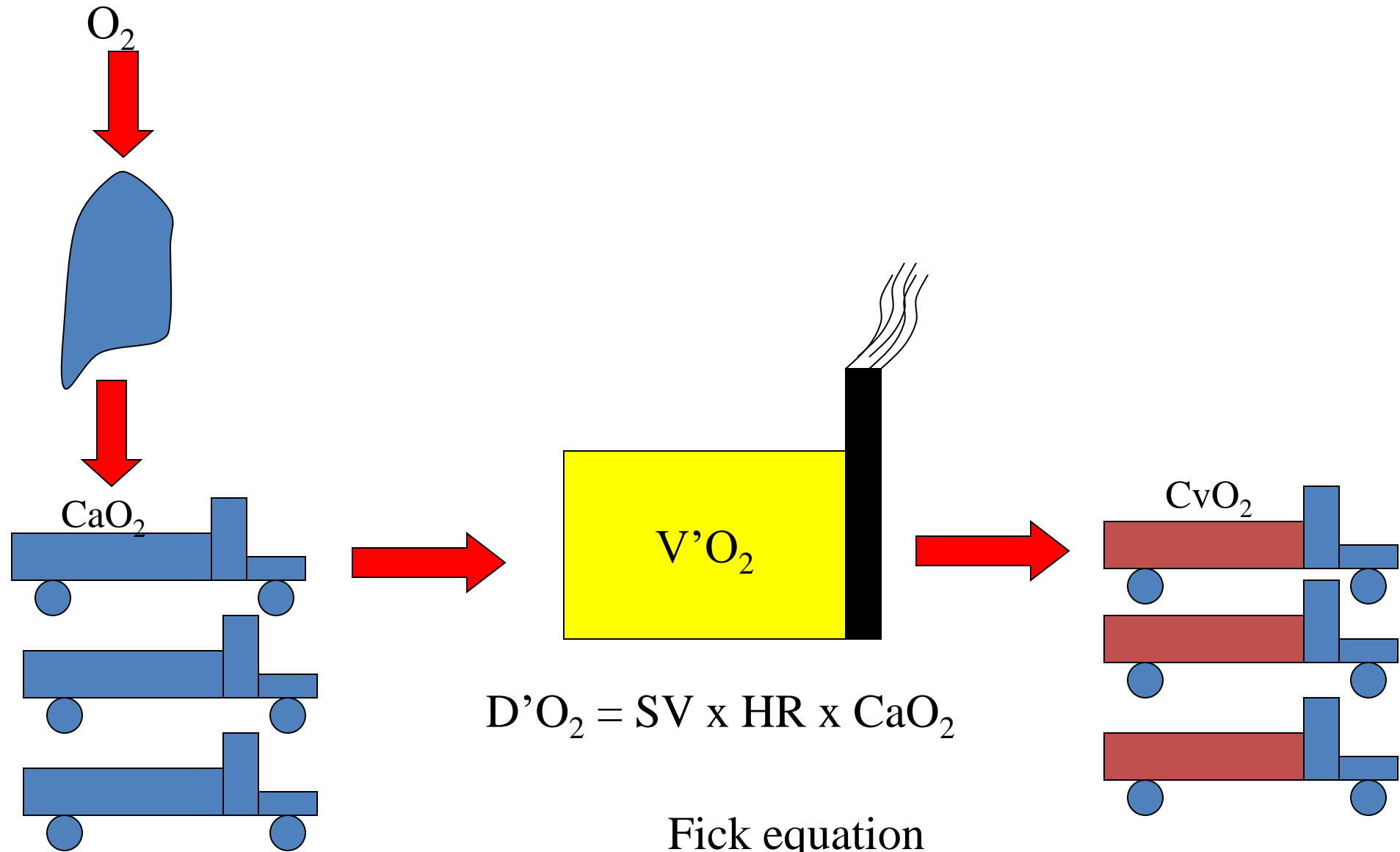
Amount of arterial  $O_2 = \text{Truck volume} \times CaO_2$

$$CvO_2 = 1.36 \times Hb \times SvO_2 + (0.003 \times PvO_2)$$

Amount of venous  $O_2 = \text{Truck volume} \times CvO_2$

$$V'O_2 = \text{Truck volume} \times (CaO_2 - CvO_2)$$

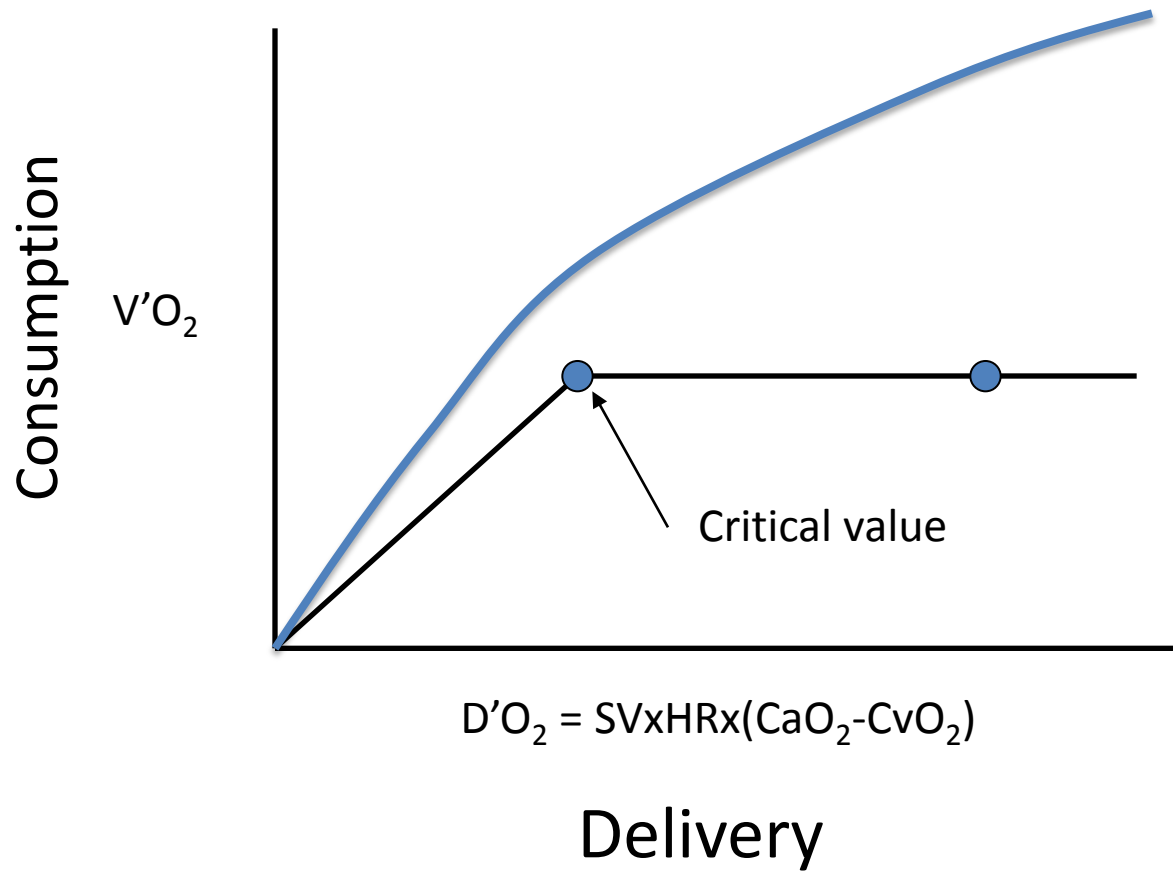
$$V'O_2 = SV \times (CaO_2 - CvO_2)$$



$$D'O_2 = SV \times HR \times CaO_2$$

Fick equation

$$V'O_2/\text{min} = SV \times HR \times (CaO_2 - CvO_2)$$



# Ποιός είναι ο ορισμός του σοκ;

- Σοκ είναι η ιστική υποξία
  - Για να κατανοήσουμε την παθοφυσιολογία του σοκ θα δούμε πρώτα πως φτάνει το οξυγόνο στους ιστούς.
  - Έχουμε ένα εργοστάσιο που παράγει ενέργεια, χρησιμοποιώντας μια πρώτη ύλη K. Η πρώτη ύλη αυτή μεταφέρεται στο εργοστάσιο με φορτηγά διαλυμένα σε υγρό, κάθε φορτηγό μεταφέρει V (Lt) όγκο διαλύματος, και η ουσία έχει συγκέντρωση στο διάλυμα C (gr/Lt).



**Αν ξέρετε ότι οι ανάγκες σε ενέργεια μπορούν στιγμιαία να αυξηθούν πως μπορεί να εξασφαλιστεί η επάρκεια του εργοστασίου;**

- Η αύξηση των φορτηγών δεν μπορεί να εξασφαλίσει στιγμιαία αύξηση της παραγωγής γιατί ακόμα και αν έχουμε περισσότερα φορτηγά, μόνο ένα μπορεί στιγμιαία να αποδώσει πρώτη ύλη.
- Η μόνη λύση τα φορτηγά να μεταφέρουν συνήθως περισσότερη πρώτη ύλη απ'οτι χρειάζεται, έτσι ώστε όταν αυξάνουν οι ανάγκες να μπορεί να χρησιμοποιηθεί περισσότερη πρώτη ύλη από το κάθε φορτηγό.

# Ερωτήσεις

- Αν θεωρήσουμε ότι κάθε φορτηγό φτάνει στο εργοστάσιο φέροντας πρώτη ύλη σε συγκέντρωση  $C_1$ , την οποία αποδίδει και φεύγοντας έχει τον ίδιο όγκο διαλύματος αλλά με νέα, μικρότερη συγκέντρωση της πρώτης ύλης  $C_2$ , μπορείτε να υπολογίσετε πόση πρώτη ύλη κατανάλωσε το εργοστάσιο ;
  - $X = V * (C_1 - C_2)$
- Για να υπολογίσουμε την κατανάλωση στη μονάδα του χρόνου ( $\dot{V}$ ) ποιά επιπλέον πληροφορία χρειαζόμαστε ;
  - Τον αριθμό των φορτηγών ( $n$ ) που φτάνουν στη μονάδα του χρόνου.

# Ερωτήσεις

- Πως διαμορφώνεται ο τύπος;
  - $\dot{V} = n \cdot V \cdot (C1 - C2)$
- Ποιές είναι οι αντιστοιχίες στον οργανισμό:
  - Πρώτη ύλη = οξυγόνο O<sub>2</sub>  
Διάλυμα = αίμα  
Φορτηγό = όγκος παλμού (Stroke volume, SV)  
Αριθμός φορτηγών στη μονάδα του χρόνου = καρδιακή συχνότητα (heart rate, HR)  
C1 = περιεκτικότητα οξυγόνου του αρτηριακού αίματος CaO<sub>2</sub>  
C2 = περιεκτικότητα οξυγόνου του φλεβικού αίματος CvO<sub>2</sub>  
 $\dot{V}O_2 = HR \cdot SV \cdot (CaO_2 - CvO_2) \rightarrow$  Εξίσωση του Fick  
Η κατανάλωση οξυγόνου από τους ιστούς  $\dot{V}O_2$  ισούται με το γινόμενο της καρδιακής παροχής επί την διαφορά περιεκτικότητας οξυγόνου του αρτηριακού με το μεικτό φλεβικό αίμα (καρδιακή παροχή, Cardiac Output, CO = HR \* SV).

# Ερωτήσεις

- Πως θα βρούμε την περιεκτικότητα σε οξυγόνο του αίματος CO<sub>2</sub> ;
- Πως μεταφέρεται το οξυγόνο στο αίμα;
  - Το οξυγόνο μεταφέρεται συνδεδεμένο με την αιμοσφαιρίνη και διαλυμένο στο αίμα
- Πόσο οξυγόνο μεταφέρει ένα μόριο αιμοσφαιρίνης όταν είναι κορεσμένη 100% ;
  - 1.36 ml O<sub>2</sub> / gr Hb (1.34-1.39 ανάλογα με το εργαστήριο)
- Πόσο οξυγόνο μεταφέρεται διαλυμένο στο αίμα;
  - Εξαρτάται από τη διαλυτότητα του οξυγόνου που είναι 0.003 ml O<sub>2</sub>/100ml blood/mmHg

# Ερωτήσεις

- Πόση είναι λοιπόν η περιεκτικότητα σε οξυγόνο του αίματος CO<sub>2</sub> ;
  - $CO_2 = 1.36 * Hb * Sat + 0.003 * PO_2$ , και ειδικά:
  - $CaO_2 = 1.36 * Hb * SaO_2 + 0.003 * PaO_2$ ,  $CvO_2 = 1.36 * Hb * SvO_2 + 0.003 * PvO_2$
- ✓ Σκεφτείτε την καμπύλη κορεσμού της αιμοσφαιρίνης, και πως το σχήμα της επιρεάζει το περιεχόμενο οξυγόνου στο αίμα σε σχέση με την PO<sub>2</sub>
- Πόσο οξυγόνο αποδίδεται στους ιστούς στη μονάδα του χρόνου (oxygen delivery, DO<sub>2</sub>) ;
  - $DO_2 = HR * SV * CaO_2$

# Ερωτήσεις

- Πως αντιμετωπίζει ο οργανισμός την αύξηση της κατανάλωσης οξυγόνου ;  
 $\dot{V} O_2 = HR * SV * (CaO_2 - CvO_2)$
- Αυξάνοντας οποιοδήποτε από τα στοιχεία της εξίσωσης, δηλαδή την καρδιακή συχνότητα, τον όγκο παλμού, ή τη διαφορά  $CaO_2 - CvO_2$ , μειώνοντας το  $CvO_2$
- ✓ Βρείτε τις φυσιολογικές τιμές και το εύρος μεταβολής τους για αυτές τις παραμέτρους. Υπολογίστε το δικό σας  $DO_2$ , και πόσο θα μεταβληθεί αν αλλάξει ο αιματοκρίτης σας (πτώση κατά 10 μονάδες) και το οξυγόνο σας (πτώση  $PaO_2$  κατά 30mmHg). Πόσο πρέπει να ελαττωθεί η  $PaO_2$  για να μειωθεί το  $DO_2$  στο 1/2 ; Προσέξτε τις μονάδες μέτρησης !
- Πότε θα έχουμε ιστική υποξία;
  - Όταν η απόδοση οξυγόνου στους ιστούς ελαττωθεί περισσότερο απ' όσο μπορεί να αντιμετωπίσουν οι αντισταθμιστικοί μηχανισμοί του οργανισμού
  - $\dot{V} O_2 = HR * SV * (CaO_2 - CvO_2) \downarrow SV, HR, CaO_2 (\downarrow Hb, Sat)$

# Ερωτήσεις

Επιλέον μηχανισμοί ιστικής υποξίας παρά την επαρκή απόδοση οξυγόνου στην κυκλοφορία είναι ανεπαρκής διάχυση του οξυγόνου από τα αγγεία στα κύτταρα λόγω διάμεσου οιδήματος, και η αδυναμία χρήσης οξυγόνου από τους ιστούς όπως σε δηλήτηρση από υδροκυάνιο.

- Ποιές είναι οι κλινικές ενδείξεις της ιστικής υποξίας;
- Μεταβολική οξέωση με αύξηση του γαλακτικού, μείωση του κορεσμού του μεικτού φλεβικού αίματος, δυσλειτουργία οργάνων.
- ✓ Προτεινόμενα για επιπλέον μελέτη:
  - ✓ Εντατική Θεραπεία, Εγχρωμο εικονογραφημένο εγχειρίδιο: Προσφορά οξυγόνου
  - ✓ Φυσιολογία αναπνευστικού West
  - ✓ Oxygen Delivery, Thorax 2002, 57:170 (free)

# Ερωτήσεις

- Πως φτάνει το οξυγόνο στο αίμα;
  - Με την εισπνοή ο αέρας εισέρχεται στις κυψελίδες και απο εκεί διαχέεται στο αίμα.
- Από τι εξαρτάται πόσο οξυγόνο θα φτάσει στο αίμα ;
  - Από το πόσο οξυγόνο υπάρχει στην κυψελίδα και πόσο θα περάσει στο αίμα  
Ας ξεκινήσουμε με το οξυγόνο στις κυψελίδες.
- Ποιά είναι η συγκέντρωση του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα εδώ και ποιιά στην κορυφή του Εβερεστ ;
  - 21%



# Ερωτήσεις

- Ποιά είναι η μερική πίεση του οξυγόνου εδώ και ποιά στην κορυφή του Εβερεστ ;
  - Νόμος του Henry: Gas partial pressure= barometric pressure\* gas fraction
  - Ατμοσφαιρική πίεση εδώ 760 mmHg, στην κορυφή του Εβερεστ 250 mmHg
- Πως θα υπολογίσουμε την μερική πίεση του οξυγόνου στις κυψελίδες ;
  - Πρέπει να γνωρίζουμε την ατμοσφαιρική πίεση και τη συγκέντρωση του οξυγόνου, καθώς και τη συγκέντρωση άλλων αερίων που υπάρχουν στις κυψελίδες.
  - Στις κυψελίδες εκτός από το οξυγόνο και το άζωτο του αέρα, υπάρχουν οι υδρατμοί, με τους οποίους εμπλουτίζεται ο αέρας περνώντας από τη μύτη μας, με μερική πίεση 47, και το διοξίδιο του άνθρακα που παράγει ο οργανισμός.

# Ερωτήσεις

Ο απλοποιημένος τύπος με τον οποίο υπολογίζεται η πίεση του οξυγόνου στις κυψελίδες είναι:  $PAO_2 = (P_b - 47) * FiO_2 - PCO_2 / R$

όπου  $P_b$ : ατμοσφαιρική πίεση,  $FiO_2$ : εισπνεόμενο οξυγόνο,  $PCO_2$  : μερική πίεση αρτηριακού διοξειδίου,  $R$ : αναπνευστικό πηλίκο =0.8

Η διαφορά της μερικής πίεσης του οξυγόνου στις κυψελίδες με το αρτηριακό αίμα ονομάζεται κυψελιδοαρτηριακή διαφορά οξυγόνου (DA-a). Φυσιολογικά η DA-a είναι περίπου 5mmHg και αυξάνει με την ηλικία.

- Γιατί ενδιαφερόμαστε για την  $PaO_2$  και την DA-a;
- Η  $PaO_2$  επηρεάζει την απόδοση οξυγόνου στους ιστούς, και η DA-a μας επιτρέπει να ξεχωρίσουμε τις αιτίες υποξυγοναιμίας.
- Ποιοί είναι οι 5 μηχανισμοί υποξυγοναιμίας ;
  1. ↓  $P_b$  ή  $FiO_2$
  2. Διαταραχή διάχυσης
  3. Υποαερισμός
  4. Διαταραχή σχέσης αερισμού-αιμάτωσης
  5. Διαφυγή απο δεξιά προς αριστερά

# Ερωτήσεις

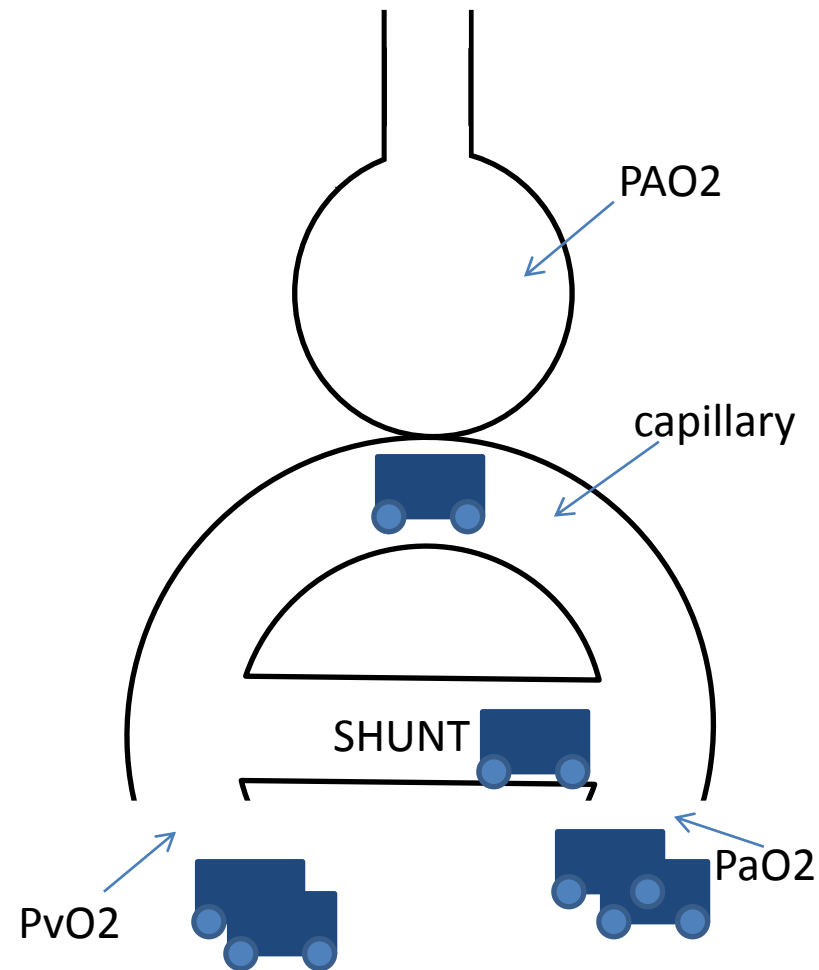
- Πως θα διαγνώσουμε στην κλινική πράξη τα αίτια της υποξυγοναιμίας
  1.  $\downarrow P_b$  ή  $F_iO_2 \rightarrow$  Η ατμοσφαιρική πίεση και το εισπνεόμενο οξυγόνο είναι γνωστά, και κατά κανόνα φυσιολογικά
  2. Διαταραχή διάχυσης  $\rightarrow$  μπορεί να προκαλέσει υποξυγοναιμία μόνο σε περιπτώσεις πνευμονικής ίνωσης, την οποία αναζητούμε με το ιστορικό/κλινική εξέταση/ α/α
- ✓ Γιατί η διαταραχή διάχυσης δεν προκαλεί υποξυγοναιμία; σκεφτείτε πόσο χρόνο χρειάζεται το ερυθρό αιμοσφαίριο στο τριχοειδές για να κορεστεί η αιμοσφαιρίνη του σε οξυγόνο – τι ποσοστό είναι αυτό του συνολικού χρόνου που έρχεται σε επαφή με την κυψελίδα
  3. Υποαερισμός

# Ερωτήσεις

- Πως θα διαπιστώσουμε αν υπάρχει υποαερισμός, και κατά πόσο συμμετέχει στην υποξυγοναιμία ;
- Έχουμε υποαερισμό (κυψελιδικό) αν είναι αυξημένο το διοξείδιο (βρείτε τις φυσιολογικές τιμές). Υπολογίζουμε την κυψελιδοαρτηριακή διαφορά οξυγόνου. Αν είναι φυσιολογική τότε η υποξυγοναιμία οφείλεται μόνο στην μείωση της  $PAO_2$  λόγω της αύξησης του διοξειδίου.
- ✓ Υπολογείστε πόσο πρέπει να αυξηθεί το διοξείδιο σε κάποιον που βρίσκεται στο επίπερο της θάλασσας και εισπνέει αέρα ώστε η  $PaO_2$  να γίνει 50 mmHg.

#### 4. Διαφυγή απο δεξιά προς αριστερά (shunt)

- Πως θα υπολογίσουμε το shunt
  - Μπορούμε να μετρήσουμε  $P_{aO_2}$ ,  $P_{vO_2}$ ,  $P_{CO_2}$ , Hb και γνωρίζουμε το εισπνεόμενο οξυγόνο και την ατμοσφαιρική πίεση. Ετσι μπορούμε κατ'αρχιν να υπολογίσουμε την  $P_{AO_2}$
  - Ας θυμηθούμε το παράδειγμα των φορτηγών. Εστω οτι έχουμε δυο φορτηγά που έρχονται με το φλεβικό αίμα, και το ένα περνά απο την κυψελίδα και οξυγονώνεται ενώ το άλλο την παρακάμπτει, και συναντιούνται ξανά στο αρτηριακό αίμα, πως θα υπολογίσουμε πόσο οξυγόνο μεταφέρουν;



➤ Βλέπουμε λοιπόν ότι μας ενδιαφέρει το περιεχόμενο οξυγόνου, και όχι η μερική πίεση του. Για να το βρούμε

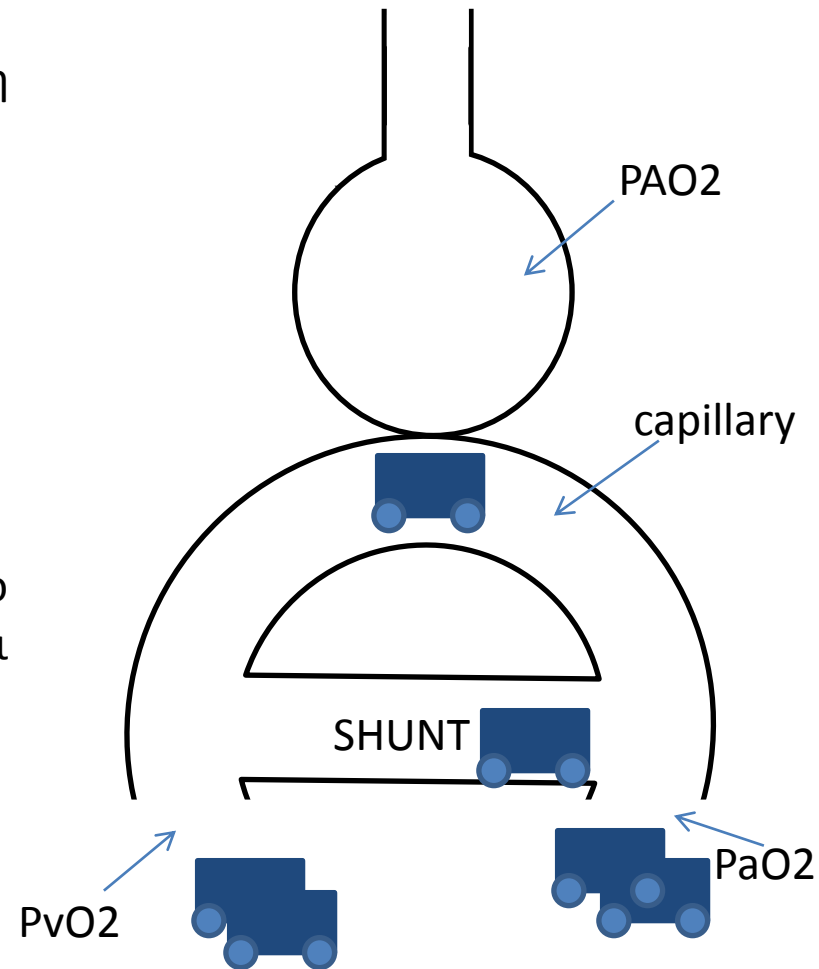
θα χρησιμοποιήσουμε τον τύπο

$CO_2 = 1.36 \cdot Hb \cdot Sat + 0.003 \cdot PO_2$ , και θα βρούμε τον

κορεσμό από την καμπύλη κορεσμού της αιμοσφαιρίνης.

Όταν θα συναντηθούν τα φορτηγά το ένα θα έχει όσο οξυγόνο είχε στο φλεβικό αίμα (αυτό που πέρασε από το shunt) και το άλλο θα έχει όσο του επιτρέπει η P<sub>AO2</sub>.

Αν κάνουμε τις πράξεις, για να απαντήσουμε στο κλινικό ερώτημα ποιο ποσοστό της κυκλοφορίας (QT) αποτελεί το shunt (QS), βρίσκουμε  $QS/QT = C_c - C_a / C_c - C_v$



# Σύνοψη

- ✓ Υπολογίστε την αύξηση στο  $CaO_2$  αν αυξηθεί το  $FiO_2$  από 21% σε 100% σε ασθενή με shunt 50% χωρίς άλλο αίτιο υποξυγοναιμίας.
- Συνοψίζοντας τη διάκριση των αιτιών υποξυγοναιμίας, έχουμε:
  1. ↓  $P_b$  ή  $FiO_2$  → κατά κανόνα φυσιολογικά
  2. Διαταραχή διάχυσης → μόνο σε πνευμονική ίνωση
  3. Υποαερισμός → αυξημένο  $CO_2$ , υπολογισμός DA-a
  4. Shunt → χορήγηση 100%  $FiO_2$ , και εκτίμηση της ανταπόκρισης
  5. Διαταραχές αερισμού αιμάτωσης → αιτία στο βαθμό που αποκλείονται τα άλλα.
- ✓ Προτεινόμενα για επιπλέον μελέτη:
- ✓ Φυσιολογία / Παθοφυσιολογία αναπνευστικού West

# Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

