



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ανταλλαγή αερίων

Ενότητα 1: Αερισμός και αιμάτωση

Κωνσταντίνος Σπυρόπουλος, Καθηγητής
Σχολή Επιστημών Υγείας
Τμήμα Ιατρικής

Ανταλλαγή αερίων

- Η μετακίνηση των αναπνευστικών αερίων εκατέρωθεν της αναπνευστικής μεμβράνης γίνεται μέσω διάχυσης. Τα αέρια μετακινούνται από έναν χώρο που έχουν μεγάλη μερική πίεση σε έναν άλλο χώρο που έχουν μικρότερη μερική πίεση.
- Η διάχυση του O_2 και του CO_2 εκατέρωθεν της αναπνευστικής μεμβράνης υπόκεινται στον **νόμο του Fick** : το ποσό του αερίου που διέρχεται στη μονάδα του χρόνου, μέσω διάχυσης, μέσω λεπτής μεμβράνης, είναι ανάλογο της έκτασης της μεμβράνης και της διαφοράς μερικής πίεσης του αερίου εκατέρωθεν αυτής και αντιστρόφως ανάλογο του πάχους της μεμβράνης.
- Επίσης, εξαρτάται και από μία σταθερά K , η οποία είναι ευθέως ανάλογη με τη διαλυτότητα του αερίου στη μεμβράνη και αντιστρόφως ανάλογη με την τετραγωνική ρίζα του μοριακού βάρους του αερίου(L): $K = \frac{sol}{\sqrt{MB}}$



Ανταλλαγή αερίων

- Η συγκέντρωση O_2 στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι 21%. Οπότε η P_{O_2} είναι $21/100 \times 760 = 159$ mmHg.
- Ο εισπνεόμενος αέρας εφυγραίνεται. Η μερική τάση των υδρατμών στη θερμοκρασία του σώματος (37°) είναι 47mmHg. Οπότε η μερική τάση του ξηρού αέρα είναι $760-47=713$ mmHg και στην συγκεκριμένη περίπτωση η P_{O_2} του εισπνεόμενου αέρα είναι $21/100 \times 713 = 149$ mmHg κατά την πορεία του εισπνεόμενου αέρα προς τις κυψελίδες.



Ανταλλαγή αερίων

- Η μερική τάση του περιεχόμενου O_2 στον κυψελιδικό χώρο λαμβάνει τιμή 100mmHg, η οποία διατηρείται σταθερή.
- Αυτό γίνεται επειδή η μερική τάση του O_2 στις κυψελίδες χαρακτηρίζεται από δύο παράγοντες. Πρώτον, από τη συνεχή ανανέωση του O_2 στον κυψελιδικό χώρο διά του αερισμού και δεύτερον, από τη συνεχή απαγωγή διά της πνευμονικής κυκλοφορίας.



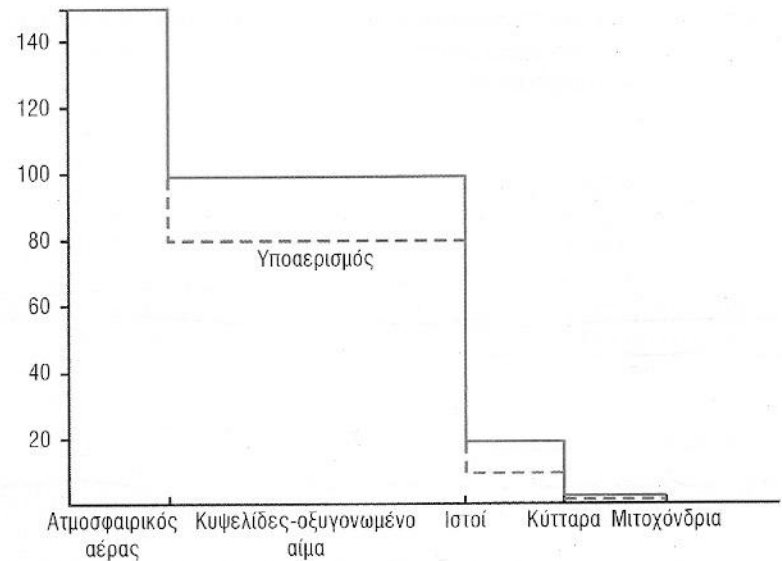
Ανταλλαγή αερίων

- Επί φυσιολογικού πνεύμονα η μερική τάση του O_2 στο οξυγονωμένο αίμα των πνευμονικών τριχοειδών είναι 100mmHg, δηλαδή $P_{AO_2} = P_{aO_2} = 100 \text{ mmHg}$.
- Όταν το αίμα φθάσει στους ιστούς, τότε αποδεσμεύεται από την αιμοσφαιρίνη και πορεύεται προς τα μιτοχόνδρια των κυττάρων των ιστών. Κατά την πορεία του αυτή, η μερική του τάση συνεχώς μειώνεται και φθάνει την τιμή των 2-5mmHg. Η τιμή αυτή ποικίλλει από ιστό σε ιστό. Το O_2 χρησιμοποιείται στα μιτοχόνδρια για την παραγωγή ενέργειας.



Ανταλλαγή αερίων

- Το διάγραμμα δείχνει τις διαδοχικές μερικές τάσεις του O_2 από τον ατμοσφαιρικό αέρα μέχρι τα μιτοχόνδρια.
- Όταν υπάρχει υποαερισμός η P_{O_2} των κυψελίδων και του οξυγονωμένου αίματος μειώνεται. Η μείωση αυτή προκαλεί και μείωση της P_{O_2} των ιστών.



Ανταλλαγή αερίων

- Το παραγόμενο CO₂ μετακινείται αντιθέτως από τους ιστούς προς το αίμα. Η μερική τάση του CO₂ του φλεβικού αίματος είναι 47mmHg, ενώ εντός του αρτηριακού είναι 40mmHg.
- Υπό φυσιολογικές συνθήκες $P_{ACO_2} = P_{aCO_2} = 40\text{mmHg}$.
- Η μερική τάση του CO₂ στους ιστούς ποικίλλει.



Ανταλλαγή αερίων

- Ο ρυθμός ανταλλαγής των αναπνευστικών αερίων εξαρτάται από τέσσερις παράγοντες, που είναι οι εξής:
 - ο υποαερισμός
 - οι διαταραχές διάχυσης
 - η διαφυγή (Shunt)
 - η διαταραχή της σχέσης αερισμού αιμάτωσης



Υποαερισμός

- Όταν υπάρχει υποαερισμός, η P_{AO_2} μειώνεται και η P_{ACO_2} αυξάνεται. Μερικές από τις αιτίες που μπορούν να προκαλέσουν υποαερισμό είναι:
 - η καταστολή της λειτουργίας του αναπνευστικού κέντρου από φάρμακα (βαρβιτουρικά, μορφίνη)
 - νοσήματα του στελέχους του εγκεφάλου,
 - νοσήματα απαγωγών νεύρων (πολυομυελίτιδα, Guillain-Barre)
 - νοσήματα νευρομυϊκής σύναψης (μυασθένεια Gravis)
 - νοσήματα αναπνευστικών μυών (μυϊκή δυστροφία)
 - νοσήματα θωρακικού κλωβού (κυφοσκολίωση)
 - απόφραξη ανώτερων αεραγωγών (θύμωμα)
 - η νοσογόνος παχυσαρκία



Υποαερισμός

- Στις αιτίες υποαερισμού που προαναφέρθηκαν οι πνεύμονες είναι φυσιολογικοί. Υπάρχουν, όμως, και περιπτώσεις όπου οι πνεύμονες είναι παθολογικοί και υπάρχει διαταραχή της σχέσης \dot{V}/\dot{Q} , η οποία και συμβάλλει αποφασιστικά στη μείωση του ρυθμού ανταλλαγής των αναπνευστικών αερίων.
- Η αύξηση της P_{ACO_2} μπορεί να υπολογιστεί αν χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση του κυψελιδικού αερισμού:
$$\dot{V}_A = \frac{\dot{V}_{CO_2}}{P_{ACO_2}} \times K$$
. Επειδή $P_{ACO_2} = P_{aCO_2}$, ισχύει ότι $\dot{V}_A = \frac{\dot{V}_{CO_2}}{P_{aCO_2}} \times K$.
- Κατά συνέπεια, όταν αυξάνεται η \dot{V}_A , η P_{aCO_2} μειώνεται και αντιθέτως, όταν μειώνεται η \dot{V}_A , η P_{aCO_2} αυξάνεται.



Υποαερισμός

- Όσον αφορά τα επίπεδα του O_2 επί υποαερισμού, σκεφτόμαστε αξιοποιώντας το αξίωμα διατήρησης της μάζας:
 - Το ποσό του O_2 που προσλαμβάνεται (\dot{V}_{O_2}) θα ισούται με τη διαφορά μεταξύ του O_2 που εισπνέεται και του O_2 που αποβάλλεται.
 - Δηλαδή ισχύει $\dot{V}_{O_2} = \dot{V}_I \times F_{I O_2} = \dot{V}_A \times F_{A O_2}$, όπου \dot{V}_I = ο εισπνεόμενος αέρας στη μονάδα του χρόνου, \dot{V}_A = ο αποβαλλόμενος αέρας στη μονάδα του χρόνου, $F_{A O_2}$ = η συγκέντρωση O_2 στον αποβαλλόμενο αέρα, $F_{I O_2}$ = η συγκέντρωση O_2 στον εισπνεόμενο αέρα.
- Επειδή $\dot{V}_I = \dot{V}_A$, διότι η διαφορά τους είναι μικρότερη του 1%, μπορούμε να πούμε ότι: $\dot{V}_{O_2} = \dot{V}_A \frac{(P_{I O_2} - P_{A O_2})}{K}$, όπου $P_{I O_2}$ = η μερική τάση του O_2 στον εισπνεόμενο αέρα και $P_{A O_2}$ = η μερική τάση του O_2 στον κυψελιδικό χώρο.



Υποαερισμός

- Αν λύσουμε την παραπάνω εξίσωση ως προς $P_{A O_2}$, τότε $P_{A O_2} = P_{I O_2} - \frac{P_{A CO_2}}{R}$. Η εξίσωση αυτή λέγεται εξίσωση των κυψελιδικών αερίων και δείχνει τη σχέση μεταξύ μερικής τάσης του O_2 και του CO_2 στον κυψελιδικό χώρο για σταθερή τιμή μερικής τάσης εισπνεόμενου οξυγόνου και σταθερή τιμή αναπνευστικού πηλίκου ($R = \frac{\dot{V}_{O_2}}{\dot{V}_{CO_2}}$).



Πρόσληψη O_2 κατά μήκους του πνευμονικού τριχοειδούς

- Όταν το O_2 περάσει την αναπνευστική μεμβράνη, διαλύεται εντός του πλάσματος, μετά περνά την κυτταροπλασματική μεμβράνη των ερυθρών αιμοσφαιρίων, εισέρχεται εντός του στρώματος και τελικώς συνδέεται με την αίμη της αιμοσφαιρίνης. Ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθούν οι παραπάνω διεργασίες είναι 0,25sec.
- Ο χρόνος που παραμένει το ερυθρό αιμοσφαίριο εντός του πνευμονικού τριχοειδούς, σε κατάσταση ηρεμίας είναι 0,75sec, οπότε υπάρχει αρκετός χρόνος ώστε η P_aO_2 να γίνει ίση με την P_AO_2 .



Πρόσληψη O_2 κατά μήκους του πνευμονικού τριχοειδούς

- Κατά την άσκηση ο χρόνος που παραμένει το αίμα στα πνευμονικά τριχοειδή είναι 0,25sec.
- Όταν η αναπνευστική μεμβράνη είναι πεπαχυσμένη η P_aO_2 να γίνει ίση με την P_AO_2 είναι 0,75sec, οπότε μόνο στην ηρεμία θα πραγματοποιείται πλήρης οξυγόνωση του αίματος. Κατά την άσκηση, η οξυγόνωση θα είναι ατελής και θα ισχύει $P_aO_2 < P_AO_2$.



Πρόσληψη O_2 κατά μήκους του πνευμονικού τριχοειδούς

- Όταν η P_AO_2 είναι μικρή, όπως συμβαίνει σε μεγάλο υψόμετρο, τότε το αίμα εισέρχεται εντός των πνευμονικών τριχοειδών με $P_{O_2}=30\text{mmHg}$ (σε αντίθεση με το επίπεδο της θάλασσας όπου $P_{O_2}=40\text{mmHg}$). Στις συνθήκες αυτές η ταχύτητα κορεσμού είναι μικρότερη απ' ότι σε κανονικές συνθήκες.
- Σε πολύ μεγάλο υψόμετρο η P_AO_2 είναι περίπου 50mmHg . Στις συνθήκες αυτές για να γίνει η P_aO_2 ίση με την P_AO_2 χρειάζονται $0,75\text{sec}$. Εάν η μεμβράνη είναι πεπαχυσμένη ο χρόνος που απαιτείται είναι μεγαλύτερος από $0,75\text{sec}$ στην ηρεμία και στην άσκηση.



Διαχυτική ικανότητα

- Αν χρησιμοποιήσουμε το CO ως αέριο για τη μέτρηση της διαχυτικής ικανότητας, τότε:

$D_L = \frac{\dot{V}_{CO}}{P_{ACO}}$, δηλαδή η διαχυτική ικανότητα του πνεύμονα για το CO ισούται με τον όγκο του CO που μεταφέρεται διά της αναπνευστικής μεμβράνης ανά λεπτό, ανά mmHg μερικής πίεσης CO, στον κυψελιδικό χώρο.

- Η διαχυτική ικανότητα της κυψελιδικής μεμβράνης εξαρτάται από το πάχος και την έκτασή της.
- Η έκταση μειώνεται σε διάφορες καταστάσεις, όπως επί πνευμονεκτομής. Το πάχος αυξάνεται σε διάφορες καταστάσεις, όπως στη διάχυτη πνευμονική ίνωση, σε ασβέστωση, στη σαρκοείδωση, αλλά και πολλές άλλες διάμεσες πνευμονοπάθειες.



ΔΙΑΦΥΓΗ (SHUNT)

- Ως διαφυγή ορίζεται το γεγονός κατά το οποίο κάποιος όγκος αίματος δεν διέρχεται διά του πνευμονικού αγγειακού δικτύου και με άλλη οδό εισέρχεται εντός της συστηματικής κυκλοφορίας δίχως να οξυγονωθεί.
- Και επί φυσιολογικών καταστάσεων υπάρχει μικρή μείωση της P_AO_2 λόγω διαφυγής. Για παράδειγμα, επί φυσιολογικών πνευμόνων, ένα μέρος του αίματος των βρογχικών αρτηριών εισέρχεται εντός των πνευμονικών φλεβών, αφού έχει δώσει αιμάτωση στους βρόγχους.



ΔΙΑΦΥΓΗ (SHUNT)

- Υπάρχουν και άλλα αίτια διαφυγής επί φυσιολογικών, αλλά και παθολογικών καταστάσεων, όπως:
 - Αναστόμωση των στεφανιαίων φλεβών με τη θεβητιανή φλέβα, η οποία εκβάλλει στον ΑΡ κόλπο.
 - Επί συγγενών καρδιοπαθειών
 - Σε πνευμονοπάθεια (π.χ ατελεκτασία), όπου το αίμα διέρχεται από αναπνευστικές μονάδες που δεν αερίζονται.
- **Όταν σε ασθενή που παρουσιάζει shunt χορηγηθεί 100% O₂ , η P_aO₂ ποτέ δεν φθάνει φυσιολογικά επίπεδα.**





Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την 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.



Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.1.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Κωνσταντίνος Σπυρόπουλος, Κυριάκος Καρκούλιας 2015. «Ανταλλαγή αερίων. Αερισμός και αιμάτωση». Έκδοση: 1.1. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/MED1041/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνες 1, 2: Εισαγωγή στη φυσιολογία του αναπνευστικού συστήματος, Σπυρόπουλος, Κωνσταντίνος, Επιστημονικές Εκδόσεις Παρισιάνου, 2013 (τροποποιημένο).



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Πίνακες

Δεν περιέχει.

