

Επισκόπηση της κυτταρικής βλάβης, 14
Υποξία των ιστών, 14
Κυτταρική βλάβη από ελεύθερες ρίζες, 25
Βλάβη των κυτταρικών οργανιδίων, 27
Ενδοκυτταρικές συσσωρεύσεις, 30

Προσαρμογή στην κυτταρική βλάβη: μεταβολές της ανάπτυξης, 34
Κυτταρικός θάνατος, 38

I. Επισκόπηση της κυτταρικής βλάβης

- Κυριότερες αιτίες κυτταρικής βλάβης

II. Υποξία των ιστών

A. Υποξία

Ανεπαρκής οξυγόνωση των ιστών

Πλήρης έλλειψη οξυγόνωσης των ιστών

PAO₂ κυψελιδική μερική πίεση O₂

PaO₂ αρτηριακή μερική πίεση O₂

O₂ συνδεδεμένο με ομάδες αίμης της Hb → SaO₂

O₂ ατμόσφαιρας → ↑PAO₂ → ↑PaO₂ → ↑SaO₂

Περιεκτικότητα O₂ = (Hb g/dL x 1,34) x SaO₂ + PaO₂ x 0,003

↓Περιεκτικότητα O₂ → ↑σύνθεση ερυθροποιητίνης από τους νεφρούς

↓Σύνθεση ATP με οξειδωτική φωσφορυλίωση

Ψευδώς ↑SaO₂ επί μεtHb/COHb • το συν-οξύμετρο μετρά ↓SaO₂ επί μεtHb/COHb

1. **Ορισμός:** Υποξία είναι η ανεπαρκής οξυγόνωση των ιστών.

- Ανοξία είναι ακραία μορφή υποξίας όπου υπάρχει πλήρης έλλειψη παροχής οξυγόνου (O₂) στο σώμα ή σε συγκεκριμένο όργανο (π.χ. μεγάλο ύψος· καρδιακή ανακοπή· αναπνευστική ανεπάρκεια).

2. Παράγοντες που συμμετέχουν στην ολική ποσότητα O₂ που περιέχει το αίμα
α. Φυσιολογικά, το O₂ διαχέεται βάσει της διαφοράς συγκέντρωσης από την ατμόσφαιρα προς τις κυψελίδες, στο πλάσμα, και μέσα στα ερυθρά αιμοσφαίρια, όπου συνδέεται με ομάδες αίμης (Πίνακας 2-2).

(1) Στις κυψελίδες, το O₂ αυξάνει την μερική πίεση του O₂ (PAO₂).

(2) Στο πλάσμα των πνευμονικών τριχοειδών, το διαλυμένο O₂ αυξάνει την μερική πίεση του αρτηριακού O₂ (PaO₂),

(3) Μέσα στα ερυθρά, το O₂ συνδέεται με ομάδες αίμης της αιμοσφαιρίνης (Hb) και αυξάνει τον αρτηριακό κορεσμό O₂ (SaO₂). Αν η PaO₂ είναι μειωμένη, λιγότερο O₂ είναι διαθέσιμο για να διαλυθεί μέσα στα ερυθρά, και μειώνεται ο SaO₂.

β. PaO₂ και SaO₂ αναφέρονται στις αναλύσεις των αερίων αίματος.

γ. **Ορισμός:** Η περιεκτικότητα O₂ είναι άνω μέτρο της συνολικής ποσότητας O₂ που μεταφέρει το αίμα και περιλαμβάνει τη συγκέντρωση Hb, καθώς και την PaO₂ και τον SaO₂.

- Περιεκτικότητα O₂ = (Hb g/dL x 1,34) x PaO₂ + SaO₂ ÷ PaO₂ x 0003.
Μείωση της περιεκτικότητας O₂ οφειλόμενη σε μείωση Hb, PaO₂ ή SaO₂, προκαλεί αύξηση της σύνθεσης ερυθροποιητίνης από τους νεφρούς.

3. Κατά την υποξία, υπάρχει μειωμένη σύνθεση τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP).

α. Σύνθεση ATP γίνεται στην εσωτερική μεμβράνη των μιτοχονδρίων με τη διαδικασία της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης (βλ. αργότερα).

β. Το O₂ είναι δέκτης ηλεκτρονίων και βρίσκεται στο τέλος της αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων (ETC) στο σύμπλεγμα IV της οξειδωτικής οδού.

γ. Η έλλειψη O₂ ή/και έλλειμμα στην οξειδωτική φωσφορυλίωση προκαλούν μαζί μείωση της σύνθεσης ATP.

Ορισμός: Η παλμική οξυμετρία (Εικ. 2-1 A) είναι μη επεμβατική εξέταση για τη μέτρηση του SaO₂. Χρησιμοποιεί αισθητήρα που συνήθως προσαρμόζεται στο δάκτυλο του ασθενούς. Το παλμικό οξύμετρο εκπέμπει φως συγκεκριμένων μηκών κύματος που ανιχνεύουν την οξυαιμοσφαιρίνη (σε εύρος 100% έως 75%) και την δεσοξυαιμοσφαιρίνη, αντιστοίχως. Τα μήκη κύματος που εκπέμπονται από το παλμικό οξύμετρο δεν μπορούν να ανιχνεύσουν δυσαιμοσφαιρίνες όπως η μεθαιμοσφαιρίνη (metHb • η ομάδα της αίμης έχει σθένος +3) και η ανθρακυλαιμοσφαιρίνη (ήτοι Hb συνδεδεμένη με μονοξείδιο του άνθρακα [COHb]), οι οποίες

μειώνουν τον SaO_2 (βλ. αργότερα). Επί παρουσίας αυτών των δυσαιμοσφαιρινών, το οξύμετρο υπολογίζει ψευδώς μεγάλο SaO_2 (Εικ. 2-1 Β). Ωστόσο, σε αντίθεση με το τυπικό οξύμετρο, το συν-οξύμετρο εκπέμπει πολλαπλά μήκη κύματος και ανιχνεύει μετHb και COHb καθώς και οξυαιμοσφαιρίνη και δεσοξυαιμοσφαιρίνη. Επομένως, επί παρουσίας αυτών των δυσαιμοσφαιρινών, ο SaO_2 θα είναι μειωμένος. Τα παλμικά οξύμετρα είναι πολύ χρήσιμα για την παρακολούθηση των ασθενών με αναπνευστική ανεπάρκεια, βαρύ άσθμα, αποφρακτική υπνική άπνοια (OSA), και των ευρισκόμενων υπό γενική αναισθησία. Οι περισσότεροι κλινικοί θεωρούν ότι τα παλμικά οξύμετρα είναι ανακριβή όταν οι τιμές του SaO_2 είναι κάτω από 70%.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-1 Μηχανισμοί κυτταρικής βλάβης

ΤΥΠΟΣ ΒΛΑΒΗΣ	ΚΛΙΝΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΚΕΦΑΛΑΙΟ
Γήρας	Μειωμένος πολλαπλασιασμός των κυττάρων	Κεφάλαια 2, 6
Ανοξία (πλήρης έλλειψη οξυγόνου) υποξία (ανεπαρκές οξυγόνο)	Συνηθέστερα οφείλεται σε κυκλοφορική (π.χ. έμφραγμα μυοκαρδίου) ή αναπνευστική δυσλειτουργία (π.χ. χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια)	Κεφάλαιο 2
Χημικές ουσίες	Οινόπνευμα, πολυκυκλικοί υδαάνθρακες (π.χ. κάπνισμα) βαρέα μέταλλα (π.χ. υδράργυρος), φάρμακα (π.χ. ακεταμινοφαίνη), ναρκωτικά (π.χ. κοκαΐνη)	Κεφάλαιο 7
Ελεύθερες ρίζες	Δηλητηρίαση από ακεταμινοφαίνη, νόσοι υπερφόρτωσης σιδήρου (π.χ. αιμοχρωμάτωση)	Κεφάλαια 2, 19, αντιστοίχως
Γενετικές και μεταβολικές παθήσεις	Φαινυλκετονουρία, σακχαρώδης διαβήτης	Κεφάλαια 6, 23, αντιστοίχως
Φλεγμονή και ανοσολογικές αντιδράσεις	Απόστημα/φλέγμονας, αυτοάνοσα νοσήματα	Κεφάλαια 3, 4, αντιστοίχως
Ενδοκυττάριας εναποθέσεις	Ενδογενείς (π.χ. αιμοσφαιρίνη, τριγλυκερίδια), εξωγενείς (π.χ. χρωστική αιθάλη, μόλυβδος)	Κεφάλαια 2, 6, 7, 12, 17, 19
Μικρόβια	Λοιμώξεις από ιούς, βακτηρίδια, μύκητες, παράσιτα	Κεφάλαια 10 έως 26
Διατροφικές ανεπάρκειες	Ανεπάρκεια πρωτεϊνών (π.χ. kwashiorkor), ανεπάρκεια βιταμινών (π.χ. σκορβούτο)	Κεφάλαιο 8
Σωματικοί παράγοντες	Τραύματα δέρματος, εγκαύματα, κρυοπαγήματα, ακτινοβολία	Κεφάλαιο 7

4. Κλινικά ευρήματα

- Κυάνωση (μπλε χρωματισμός του δέρματος και των βλεννογόνων) (Εικ. 2-1 Γ)
- Σύγχυση, άγχος, λήθαργος, ταχυκαρδία, ταχύπνοια, σπασμοί, κώμα, ακόμη και θάνατος

Κυάνωση μπλε χρώση του δέρματος
→ υποξία

B. Αιτίες υποξίας των ιστών

1. Ισχαιμία

- Ορισμός:** Ισχαιμία είναι η μειωμένη ροή αρτηριακού αίματος προς τους ιστούς ή η μειωμένη φλεβική αποχέτευση από τους ιστούς.
- Παραδείγματα: αρτηριοσκλήρωση των στεφανιαίων αρτηριών, μείωση της καρδιακής παροχής, θρόμβωση της άνω μεσεντέριας φλέβας
- Συνέπειες
 - Ατροφία (μείωση της κυτταρικής/ιστικής μάζας· συζητείται αργότερα)
 - Έμφραγμα ιστών (εντοπισμένη περιοχή νέκρωσης ιστού· συζητείται αργότερα)
 - Δυσλειτουργία οργάνων (αδυναμία διεξαγωγής φυσιολογικών μεταβολικών λειτουργιών)

↓Αρτηριακής ροής προς τους ιστούς/↓φλεβικής αποχέτευσης από τους ιστούς

Αρτηριοσκλήρωση των στεφανιαίων αρτηριών, ↓καρδιακής παροχής, θρόμβωση άνω μεσεντέριας φλέβας

Ατροφία, έμφραγμα, δυσλειτουργία οργάνων

2. Υποξαιμία

- Ορισμός:** Υποξαιμία είναι η μείωση της PaO_2 , μετρούμενη στα αρτηριακά αέρια αίματος,
- Η φυσιολογική PaO_2 εξαρτάται από το ποσοστό του O_2 στον εισπνεόμενο αέρα, τον αερισμό (αναπνοή), την αιμάτωση (ροή αίματος στους πνεύμονες), και τη διάχυση του O_2 από τις κυψελίδες προς τα πνευμονικά τριχοειδή (Εικ. 2.2 Α).
 - Προσέξτε στο σχήμα (Εικ. 2-2 Α) ότι η φυσιολογική μερική πίεση του O_2 (PO_2) στον εισπνεόμενο αέρα (PiO_2) είναι 150 mmHg και η φυσιολογική

↓ PaO_2

PaO_2 : % O_2

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-2 Ορολογία σχετιζόμενη με μεταφορά οξυγόνου και υποξία

ΟΡΟΣ	ΟΡΙΣΜΟΣ	ΣΥΜΒΑΛΛΟΝΤΕΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΣΗΜΑΣΙΑ
Περιεκτικότητα O_2	Η συνολική ποσότητα O_2 που περιέχεται στο αίμα. Περιεκτικότητα $O_2 = (Hb \text{ g/dL} \times 1,34) \times SaO_2 + PaO_2 \times 0,003$. ↑Περιεκτικότητα O_2 προκαλεί ↓ΕΡΠΟ. ↓Περιεκτικότητα O_2 προκαλεί ↑ΕΡΠΟ.	Η συγκέντρωση Hb στα ερυθρά είναι το σημαντικότερο από τους τρεις παράγοντες της περιεκτικότητας O_2 . PaO_2 SaO_2	<ul style="list-style-type: none"> • Η Hb είναι ο σημαντικότερος φορέας O_2 • Η συγκέντρωση Hb καθορίζει τη συνολική ποσότητα O_2 που παρέχεται στους ιστούς. Σε αναιμία, παρέχεται λιγότερο O_2 στους ιστούς. • Η περιεκτικότητα O_2 είναι μειωμένη κατά την υποξαιμία, αναιμία, δηλητηρίαση από CO, και μεθαιμοσφαιριναιμία. • Επί δηλητηρίασης από κυανίδιο, η φλεβική περιεκτικότητα O_2 είναι μεγαλύτερη από την αρτηριακή περιεκτικότητα O_2, επειδή δεν γίνεται εξαγωγή O_2 από τους ιστούς. Επιπλέον, ο MVO_2 είναι βασικά ο ίδιος με την περιεκτικότητα O_2 του αρτηριακού αίματος, επειδή δεν εξάγεται O_2 από το φλεβικό αίμα.
PaO_2	Είναι η πίεση που κρατά διαλυμένο το O_2 στο πλάσμα του αρτηριακού αίματος ($PaO_2 \times 0,003$)	Ποσοστό O_2 στον εισπνεόμενο αέρα Ατμοσφαιρική πίεση Συγκέντρωση PAO_2 στους πνεύμονες Φυσιολογική ανταλλαγή O_2 στους πνεύμονες διαμέσου της κυψελιδο-τριχοειδικής μεμβράνης	<ul style="list-style-type: none"> • Η PaO_2 είναι μειωμένη στην υποξαιμία. • Η PaO_2 είναι η κινητήρια δύναμη για τη διάχυση του O_2 από τα τριχοειδή, όπου υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση O_2, προς τους ιστούς, όπου υπάρχει μικρότερη συγκέντρωση O_2. Αν η PaO_2 μειωθεί, υπάρχει μικρότερη διάχυση O_2 προς τους ιστούς.
SaO_2	Το μέσο ποσοστό του O_2 που είναι συνδεδεμένο με ομάδες αίμης στην Hb των ερυθρών αιμοσφαιρίων	Οι ίδιοι παράγοντες που παρατέθηκαν προηγουμένως για την PaO_2 . Το φυσιολογικό σθένος του σιδήρου της αίμης σε καθεμία από τις τέσσερις ομάδες αίμης μέσα στα ερυθρά είναι Fe^{2+} (αναγμένος), που είναι το μόνο σθένος του σιδήρου που μπορεί να συνδεθεί με O_2 . Για παράδειγμα, το σθένος Fe^{3+} (οξειδωμένος) στον σίδηρο της αίμης δεν μπορεί να δεσμεύσει O_2 .	<ul style="list-style-type: none"> • Ο $SaO_2 < 80\%$ προκαλεί κυάνωση (μπλε χρώση) του δέρματος και των βλεννογόνων.

ΕΡΠΟ, ερυθροποιητίνη· Fe^{2+} , αναγμένος σίδηρος· Fe^{3+} , οξειδωμένος σίδηρος· O_2 , οξυγόνο· PAO_2 , μερική πίεση κυψελιδικής PaO_2 · PaO_2 , μερική πίεση αρτηριακού οξυγόνου· SaO_2 , κορεσμός αρτηριακού οξυγόνου

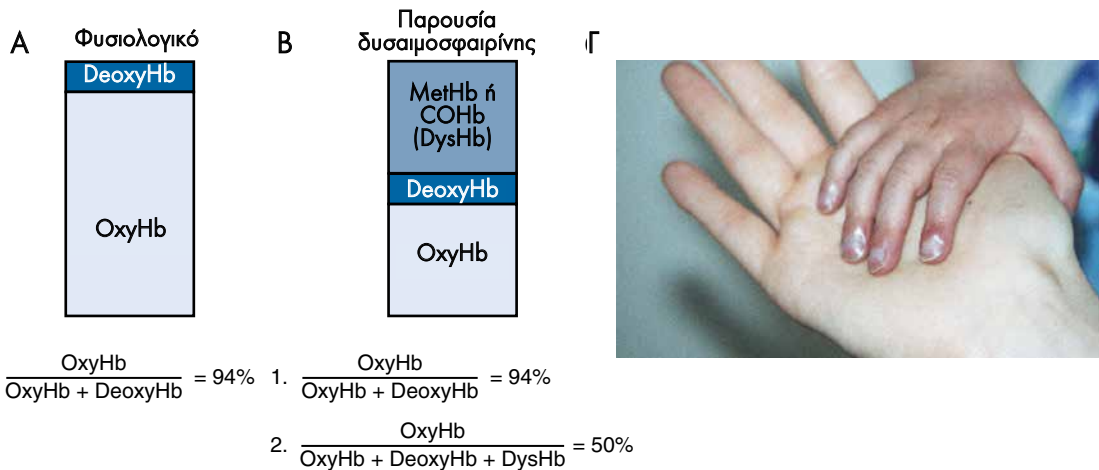
PiO_2 150 mmHg, $PiCO_2$ 0 mmHg

MVO_2 40 mmHg επιστρέφοντας από τους ιστούς

PaO_2 100 mmHg φεύγοντας από τους πνεύμονες

$MVPCO_2$ 46 mmHg από τους ιστούς → $PaCO_2$ 40 mmHg φεύγοντας από τους πνεύμονες

- μερική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα ($PiCO_2$) είναι 0, λόγω απουσίας CO_2 από την ατμόσφαιρα.
- (2) Στις κυψελίδες, το O_2 διαχέεται προς τα πνευμονικά τριχοειδή· επομένως, η κυψελιδική PAO_2 πέφτει στα 100 mmHg.
- (α) Σημειωτέον ότι το O_2 του μικτού φλεβικού αίματος (MVO_2) που επιστρέφει από τους ιστούς προς τους πνεύμονες έχει φυσιολογικά μερική πίεση O_2 40 mmHg λόγω της φυσιολογικής διάχυσης του O_2 που παρέχεται από τα ερυθρά προς τους ιστούς. Εντούτοις, αφού το O_2 διαχυθεί από τις κυψελίδες προς τα πνευμονικά τριχοειδή, η συστηματική αρτηριακή PO_2 , ή PaO_2 , αυξάνεται στα 100 mmHg.
- (β) Σημειωτέον ότι το μικτό φλεβικό αίμα ($MVPCO_2$) που επιστρέφει από τους ιστούς προς τους πνεύμονες έχει φυσιολογικά μερική πίεση CO_2 46 mmHg, λόγω της διάχυσης CO_2 από τους ιστούς προς το φλεβικό αίμα που επιστρέφει προς τους πνεύμονες. Εντούτοις, αφού το CO_2 από το μικτό φλεβικό αίμα διαχυθεί προς τις κυψελίδες για απομάκρυνση, η συστηματική αρτηριακή PCO_2 ($PaCO_2$) πέφτει στα 40 mmHg.



Εικ. 2-1: **A**, Η παλμική οξυμετρία είναι μη επεμβατική εναλλακτική μέθοδος μέτρησης του SaO_2 . Χρησιμοποιεί αισθητήρα που στερεώνεται συνήθως στο δάκτυλο του ασθενούς. Το οξύμετρο εκπέμπει ερυθρό και υπέρυθρο φως με συγκεκριμένα μήκη κύματος που ανιχνεύουν οξυαιμοσφαιρίνη (oxyHb) και δεσοξυαιμοσφαιρίνη (deoxyHb), αντιστοίχως. Το οξύμετρο υπολογίζει τον SaO_2 χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση: $\text{oxyHb}/(\text{oxyHb} + \text{deoxyHb})$. Τα μήκη κύματος που εκπέμπονται από το παλμικό οξύμετρο δεν μπορούν να ανιχνεύσουν δυσαιμοσφαιρίνες όπως μεθαιμοσφαιρίνη (metHb) και καρβοξυαιμοσφαιρίνη (ήτοι Hb συνδεδεμένη με μονοξείδιο του άνθρακα [COHb]), οι οποίες φυσιολογικά μειώνουν τον SaO_2 . Επί παρουσίας αυτών των δυσαιμοσφαιρινών, το οξύμετρο υπολογίζει φυσιολογικό SaO_2 , επειδή οι metHb και COHb δεν συμπεριλαμβάνονται στον υπολογισμό του SaO_2 στην εξίσωση 1 του μέρους B της εικόνας. **B**, Εντούτοις, ένα συν-οξύμετρο που εκπέμπει πολλαπλά μήκη κύματος, υπολογίζει τη μείωση του SaO_2 επειδή ανιχνεύει και COHb και τις συμπεριλαμβάνει στον υπολογισμό του SaO_2 : $\text{oxyHb}/(\text{oxyHb} + \text{deoxyHb} + \text{metHb} \text{ ή } \text{COHb})$ (εξίσωση 2 στο B). **Γ**, Χέρι παιδιού με τετραλογία του Fallot, μια συγγενή καρδιοπάθεια συνδυαζόμενη με κυάνωση. Προσέξτε την μπλε χρώση κάτω από τα νύχια και το σκούρο δέρμα σε σύγκριση με το χέρι φυσιολογικού ενήλικου. (**A** και **B** από Goljan E, Sloka K: Rapid Review Laboratory Testing in Clinical Medicine, Philadelphia, Mosby Elsevier, 2008, p 78, Fig. 3-6; **Γ** από Taylor S, Raffles A: Diagnosis in Color Pediatrics, London, Mosby-Wolfe, 1997, p 91, Fig. 3.6).

γ. Αιτίες υποξαιμίας ($\downarrow \text{PaO}_2$)

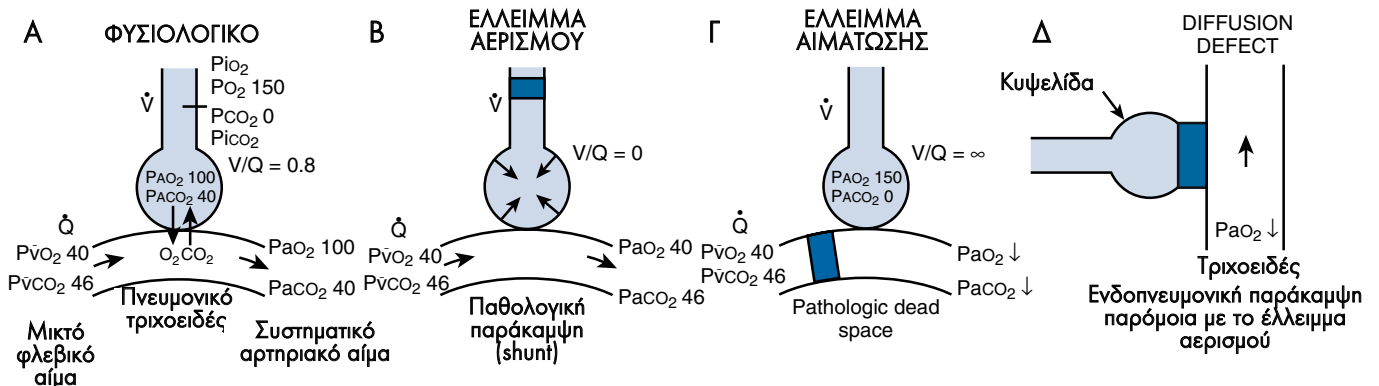
(1) Αναπνευστική οξέωση

(α) **Ορισμός:** Η αναπνευστική οξέωση ορίζεται ως η κατακράτηση CO_2 στους πνεύμονες (υποαερισμός) που προκαλεί αύξηση της PaCO_2 (βλ. Κεφάλαιο 5) και αντίστοιχη μείωση της PaO_2 (βλ. παρακάτω).

(β) Μια μερική λίστα αιτιών αναπνευστικής οξέωσης περιλαμβάνει την καταστολή του αναπνευστικού κέντρου του προμήκη (π.χ. βαρβιτουρικά), την παράλυση του διαφράγματος (π.χ. μυατροφική πλάγια σκλήρυνση), και τη χρόνια βρογχίτιδα.

(γ) Η κατακράτηση διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στις κυψελίδες (\uparrow κυψελιδικής PCO_2) προκαλεί πάντα αντίστοιχη μείωση της κυψελιδικής

Υποαερισμός $\rightarrow \uparrow \text{PaCO}_2$,
 $\downarrow \text{PaO}_2$



Εικ. 2-2: Ελλείμματα αερισμού (V)-αιμάτωσης (Q). **A**, Σχηματικά ο φυσιολογικός αερισμός και η αιμάτωση, **B**, Σχηματικά το έλλειμμα αερισμού. Το σχήμα δείχνει κατάρρευση των κυψελίδων (βέλη) λόγω έλλειψης επιφανειοδραστικού (βέλη). Βλ. στο κείμενο για περαιτέρω συζήτηση. **Γ**, Σχηματικά το έλλειμμα αιμάτωσης που δείχνει αποκλεισμό της αιμάτωσης αλλά φυσιολογικό αερισμό. **Δ**, Σχηματικά το έλλειμμα διάχυσης που δείχνει αποκλεισμό της διάχυσης του O_2 διαμέσου της διαχωριστικής επιφάνειας κυψελίδας-τριχοειδούς προς τα πνευμονικά τριχοειδή. Βλ. στο κείμενο για περαιτέρω συζήτηση. PaCO_2 , Μερική πίεση του αρτηριακού διοξειδίου του άνθρακα. PaO_2 , Μερική πίεση του αρτηριακού οξυγόνου. PCO_2 , Μερική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα. PO_2 , Μερική πίεση του οξυγόνου. PVCO_2 , Μερική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα στο μικτό φλεβικό αίμα. PVO_2 , Μερική πίεση του οξυγόνου στο μικτό φλεβικό αίμα. (Τροποποιημένα από Goljan E, Sloka K: Rapid Review Laboratory Testing in Clinical Medicine, Philadelphia, Mosby Elsevier, 2008, p 76, Fig. 3-5).

↑Κυψελιδικής $PCO_2 \rightarrow \downarrow PAO_2 \rightarrow$
 $\downarrow PaO_2$ (αίμα) $\rightarrow \downarrow SaO_2$ (ερυθρά)

Διαφορά A-a φυσιολογική

Το άθροισμα των μερικών πιέσεων O_2 , CO_2 , και αζώτου στις κυψελίδες των πνευμόνων πρέπει να είναι ίσο με 760 mmHg στο επίπεδο της θάλασσας. Θεωρώντας ότι η μερική πίεση του αζώτου είναι σταθερή, μια αύξηση της PAO_2 πρέπει να συνοδεύεται από μείωση της PAO_2 ώστε το άθροισμα των μερικών πιέσεων να είναι 760 mmHg. Αυτό οδηγεί σε μείωση της PaO_2 και του SaO_2 . Συμβαίνει επίσης του αντίστροφο. Αν η PAO_2 είναι μειωμένη (αναπνευστική αλκάλωση • υπεραερισμός), τότε η PaO_2 πρέπει να αυξηθεί, πράγμα που θα αυξήσει την PaO_2 και τον SaO_2 αν ο αερισμός, η αιμάτωση, και η διάχυση είναι φυσιολογικά στους πνεύμονες.

$\downarrow PAO_2 = \uparrow$ κυψελιδικής $PAO_2 =$
 $\uparrow PaO_2 = \uparrow SaO_2$ • διαφορά A-a
 φυσιολογική • $\uparrow PaCO_2 = \downarrow PAO_2$
 = • $\downarrow PaO_2 = \downarrow SaO_2$ • διαφορά A-a
 φυσιολογική

(2) Μειωμένη PiO_2

- Παραδείγματα: αναπνοή σε μεγάλο υψόμετρο και αναπνοή μειωμένου % O_2 σε ομίχλη. Η διαφορά A-a είναι φυσιολογική (χωρίς πνευμονική βλάβη).

Ο λόγος αερισμού-αιμάτωσης είναι ο λόγος κυψελιδικού αερισμού (\dot{V} σε λίτρα/λεπτό) προς πνευμονική ροή αίματος (\dot{Q} σε λίτρα/λεπτό). Ο φυσιολογικός λόγος $\dot{V}/\dot{Q} = 4$ λίτρα/λεπτό/5 λίτρα/λεπτό = 0,8. Ο όρος φυσιολογικός στα πλαίσια αυτά σημαίνει ότι η συχνότητα αναπνοής, ο αναπνεόμενος όγκος (tidal volume, ο όγκος που μπαίνει και βγαίνει από τους πνεύμονες σε ήρεμη αναπνοή), και η καρδιακή παροχή είναι όλα φυσιολογικά.

$\downarrow PiO_2$ προκαλεί υποξαιμία •
 διαφορά A-a φυσιολογική

Οι κυψελίδες αιματώνονται αλλά
 δεν αερίζονται

Ενδοπνευμονική αναδιάρθρωση
 του αίματος (παθολογικό
 βραχυκύκλωμα)

$\dot{V}/\dot{Q} = 0$ • \uparrow διαφοράς A-a

Ελλείμματα αερισμού σε RDS/CF
 (ενδοπνευμονικό βραχυκύκλωμα)

(3) Ελλείμματα αερισμού/αιμάτωση (\dot{V}/\dot{Q})

(α) Η Εικ. 2-2 Β δείχνει ένα έλλειμμα αερισμού.

- **Ορισμός:** Κατά το έλλειμμα αερισμού, οι κυψελίδες αιματώνονται ωστόσο, υπάρχει διαταραχή στην προσφορά O_2 στις κυψελίδες (μειωμένος \dot{V}).
- Τα διάχυτα ελλείμματα αερισμού παράγουν ενδοπνευμονικές αναδιάρθρωσεις του αίματος (παθολογικό βραχυκύκλωμα) που χαρακτηρίζονται από το ότι το αίμα των τριχοειδών του πνεύμονα έχει την ίδια PO_2 και PCO_2 με το φλεβικό αίμα που επιστρέφει από τους ιστούς.
- Σημειώτεον ότι το \dot{V}/\dot{Q} σε μεγάλο έλλειμμα αερισμού είναι 0.
- Επειδή υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ PAO_2 και PaO_2 , η διαφορά A-a αυξάνεται (βλ. Κεφάλαιο 17).

Το σύνδρομο αναπνευστικής δυσχέρειας (RDS • βλ. Κεφάλαιο 17) είναι παράδειγμα διάχυτου ελλείμματος αερισμού (ενδοπνευμονικό βραχυκύκλωμα του αίματος). Κατά την RDS υπάρχει έλλειψη επιφανειοδραστικού (λιπαντικής ουσίας στις κυψελίδες που μειώνει την επιφανειακή τάση κρατώντας τις ανοικτές) πράγμα που προκαλεί σύμπτωση των περιφερικών αναπνευστικών οδών (ονομαζόμενη ατελεκτασία) και στους δύο πνεύμονες (προσέξτε τα βέλη στην Εικ. 2-2 Β). Άλλο παράδειγμα διάχυτου ελλείμματος αερισμού και ενδοπνευμονικού βραχυκύκλωματος του αίματος είναι η κυστική ίνωση (CF) όπου παχιά βλεννώδη βύσματα αποφράσσουν τις αναπνευστικές οδούς (μπλε τετράγωνο στην Εικ. 2-2 Β) και υπάρχει περιφερική απορρόφηση του αέρα από τις κυψελίδες (ονομαζόμενη ατελεκτασία).

- Η αύξηση του κλάσματος εισπνεόμενου οξυγόνου (FiO_2) δεν αυξάνει σημαντικά την PaO_2 στα διάχυτα ελλείμματα αερισμού που αφορούν και στους δύο πνεύμονες (π.χ. RDS).
- Μικρότερα ελλείμματα αερισμού αντισταθμίζονται συνήθως από τον φυσιολογικά αεριζόμενο πνεύμονα.

(β) Η Εικ. 2-2 Γ δείχνει έλλειμμα αιμάτωσης.

- **Ορισμός:** Κατά το έλλειμμα αιμάτωσης, οι κυψελίδες αερίζονται, αλλά δεν υπάρχει αιμάτωση των κυψελίδων (μειωμένο \dot{Q}).
- Παραδείγματα: πνευμονική εμβολή (βλ. Κεφάλαια 5 και 17) και εμβολή λίπους (βλ. Κεφάλαιο 5).

\dot{V} φυσιολογικός, \dot{Q} μειωμένη

PE, εμβολή λίπους